

## ASIAKASRAPORTTI

VTT-CR-00016-25



## Veneiden aiheuttamien aaltojen ja melun mittaus



## Sisällysluettelo

---

1. Johdanto .....	4
2. Mittaukset .....	4
2.1 Sääolosuhteet kokeiden aikana .....	4
2.2 Kokeissa käytetyt venetyypit .....	4
2.3 Mittausjärjestelyt .....	5
2.4 Koeohjelma .....	7
3. Tulokset .....	8
3.1 Aaltomittaukset .....	8
3.2 Vedenalainen melu .....	12
3.3 Melumittaus ilmasta .....	15
3.4 Häiritsevyyden arviointi .....	19
4. Johtopäätökset ja yhteenveto .....	22
5. Lähdeviitteet .....	23
Liitteet .....	23



## 1. Johdanto

---

Vesiliikenteen aiheuttama melu ja aallot koetaan usein häiritseviksi ja ne herättävät varsin paljon julkista keskustelua erityisesti kesäaikaan. Vaikutuksia kohdistuu ihmisiin, luontoon, rakenteisiin ja kiinnitettyihin veneisiin. Järjestetyllä yhden päivän mittaustapahtumalla kerättiin mitattua tietoa häiritsevyyden arvioimiseksi ja päätöksenteon tueksi.

Mittaukset tehtiin Espoon Nuottaniemen venesataman aallonmurtajalla syyskuussa 2024. Järjestelyissä käytettiin soveltuvin osin lähtökohtana vuoden 1999 Helsingin Jollaksessa tehtyjä vastaavia mittauksia. Mittauspäivä järjestettiin yhteistyössä tilaajan, VTT:n ja alihankkija Marine Mentors Oy:n kanssa.

Veneiden aiheuttamaa ääntä mitattiin ilmasta ja veden alta. Veneiden ohituksen aiheuttamat aallot mitattiin aallonkorkeusantureilla. Koetapahtumaan osallistui neljä erilaista moottorivenettä ja yksi vesiskootteri. Ilmamelumittauksen raportointeineen teki alihankkijana Akukon Oy. Traficom järjesti mittauspäiväksi 12 hengen arviointiryhmän veneiden aiheuttaman melun häiritsevyyden arvioimiseen.

## 2. Mittaukset

---

Alkusyksyn sää suosi mittaustapahtuma, tuuli oli hyvin heikkoa koko päivän ajan ja muuta veneliikennettä oli selvästi vähemmän kuin kesälomasesongin aikaan.

### 2.1 Sääolosuhteet kokeiden aikana

Meriveden korkeus ei muuttunut mitausten aikana, Helsingin mittauspaikalla -9 cm -10 cm keskivedestä (Helsingin mareografi). Näkyvyys oli aamulla kokeiden alkaessa rajoittunut sumun takia muutamaan sataan metriin. Näkyvyys oli kuitenkin riittävä veneiden saapumiseen ja kokeiden toteuttamiseen. Puoleen päivään mennessä sumu hälveni ja näkyvyys alueella parani 30–45 km:iin.

Tuuli oli heikkoa mittauspäivän aikana. Aamulla tuuli maan puolelta, pohjoisesta alle 2 m/s. Lounastauon aikana tuuli kääntyi etelään ja oli iltapäivällä enimmillään vajaa 4 m/s. Mereltä puhaltanut heikko etelätuuli aiheutti iltapäivällä mittausalueelle noin 5–10 cm korkuisen aallokon. Säähavainnot on kerätty Ilmatieteen laitoksen Espoon Tapiolan havaintoasemalta, joka sijaitsee pohjoiskoilliseen mittauspaikasta Gräsanojan laaksossa noin 2 km etäisyydellä keskimääräisestä rantaviivasta. Epäviralliset säähavainnot venekerhon (Espoon pursiseura, EPS) omalta sääasemalta olivat yhteneviä Ilmatieteen laitoksen lähimmän havaintoaseman kanssa.

### 2.2 Kokeissa käytetyt venetyypit

Mittauksiin saatiin Finnboat:n ja MarineMentors:n avustuksella neljä erilaista moottorivenettä kuljettajineen ja yksi vesiskootteri. Suurin vene oli n 12 m pitkä, yli 8 t painava matkavene. Veneet 2 ja 3 olivat samantyyppisiä noin 7 m pituisia nopeita moottoriveneitä, joista toinen oli varustettu 120 hv sähköperämoottorilla. Lista veneistä ja niiden moottoreista on esitetty Taulukoissa 1 ja 2.



Taulukko 1. Kokeissa käytetyt veneet.

Vene N:o	Tyyppi	Pituus [m]	Leveys [m]	Paino kokeissa [kg]	Vuosimalli
1	12 m matkavene	11,76	3,50	8365	2011
2	7 m DC	7,30	2,60	2075–2175	2024
3	7 m sähkö DC	7,20	2,23	2090	2024
4	5 m pulpettivene	4,95	1,95	713	2024
5	3 m vesiskootteri	3,32	1,25	377	2024

DC = daycruiser, yleisesti käytetty venetyypin lyhenne, 'päiväristeilijä'.

Taulukko 2. Kokeissa käytettyjen veneiden moottoritietoja.

Vene N:o	Moottori(t)	Teho [hp]	RPM	Sylinteri luku	Huippunopeus kokeissa [km/h]
1	2 x dieselmoottori	2x330	3500	6	57
2	4 t perämoottori	350	6000	6	74
3	Sähköperämoottori	120		-	54
4	4 t perämoottori	50	5500–6000	3	52
5	4 t, vesisuihku	230	8000	3	71

Yhtenä syynä vuoden 1999 mittauksen uusimiselle oli venekannan muuttuminen 25 vuodessa. Vesiskoottereiden tehot ja myös koko on kasvanut, vuonna 1999 kokeissa olleiden vesiskoottereiden tehot olivat 110 ja 135 hv, nyt 230 hv.

Vuonna 1999 mittauksiin osallistui kaksi avointa pulpettivenettä, 20 hv kaksi- ja nelitahtisilla moottoreilla. Vuonna 2024 avoimessa pulpettiveneessä oli 50 hv nelitahtimoottori ja vene oli myös selvästi suurempi.

Suurin kokeisiin osallistunut matkavene vuonna 1999 oli 7,7 m pitkä ja painoi 2800 kg, vuonna 2024 suurimman veneen pituus oli 11,76 m ja paino kokeissa noin 8400 kg.

## 2.3 Mittausjärjestelyt

Mittaukset tehtiin Espoon Nuottaniemen venesataman aallonmurtajalla 19.9.2024 (Kuva 1.). Kokeissa mitattiin veneiden ohitusten aikaan äänenpainetasot ilmassa rannalta, aaltojen korkeusprofiili rannasta sekä äänenpainetasot veden alta meren pohjasta 5 m syvyydeltä veneiden 50 metrin ohituskohdan poijun kohdalta hydrofonilla. Lisäksi veneiden ohitukset videoitiin rannalta ja osittain ilmasta dronin avulla. Lisäksi rannalla oli 12 hengen arviointiraati arvioimassa veneiden aiheuttaman melun häiritsevyyttä. Kuvissa 1–3 on nähtävissä mittausjärjestelyt, veneiden ohitusreitit ja kuvia mittalaitteiden asennuksista. Taulukko 3 sisältää käytettyjen antureiden tietoja.



Kuva 1. Mittausjärjestely Nuottaniemessä ja veneiden reitit.



Kuva 2. Vene ohittamassa 100 m etäisyydellä olevan poijun itään päin kokeiden aikana (koe 58).



Kuva 3. Valokuvat aaltoantureista (vas.) ja pohjaan asennetusta hydrofonista (oik.).

Taulukko 3. Mitatut suureet ja käytetyt mittalaitteet.

Mitattu suure		Taajuusalue
Aallot	2 x Lanka-anturi, Akamina AWP-24-3, 100 cm	0–100 Hz
Vedenalainen ääni	2 x Hydrofoni B&K 8106	10–80 000 Hz
Vahvistin ja tiedonkeruu	imc CS-7008	
Ääni ilmassa	2 x NTi Audio MC230	5–20 000 Hz

## 2.4 Koeohjelma

Viidellä veneellä ajettiin päivän aikana yhteensä 98 mitattua ohitusta. Ohituksia ajettiin kahdella etäisyydellä rannan mittaus- ja arviointipaikasta, 50 m ja 100 m. Ohitusetäisyydet 50 ja 100 metriä mittauspaikkaan nähden oli merkitty poijuilla.

Ohitukset ajettiin pareina niin, että ensin ajettiin länteen ja sama tilanne toistettiin samoilla lähtöarvoilla palaamalla tyyntymistauon jälkeen takaisin itään, esim. ajot 1 ja 2 ovat identtisiä, ainoastaan ajosuunta vaihtui. Ajonopeudet kokeissa olivat 10, 20, 30 km/h ja lisäksi veneiden huippunopeus. Kuitenkin koepaikan takia suurimmaksi turvalliseksi nopeudeksi kokeissa otettiin nopeimmillakin veneillä 40 solmua, 74 km/h.

Veneillä ajettiin myös hidastus-kiihdytyskokeita mittauspaikan kohdalla niin, että lähestyminen tehtiin 20 km/h nopeudella ja mittauspaikan kohdalla hidastettiin tyhjäkäynnille, minkä jälkeen nopeus nostettiin taas 20 km/h. Tulostaulukoihin hidastus-kiihdytyskokeiden nopeus on merkitty '20-(5)-20'. Tulostulokuvauksiin hidastus-kiihdytyskokeet on merkitty 15 km/h kohdalle.

Koepäivän päätteeksi vesiskootterilla (vene 5) ajettiin ns. häiriöajoa, edestakaisin ajoa vaihtelevalla nopeudella, 50 m ja 100 m merkkipoijujen läheisyydessä.

Koepöytäkirja on kokonaisuudessaan Liitteessä 1. Aaltomittausten sekä vedenalaisen äänen mittausten analyysimenetelmät on esitetty Liitteessä 2.



### 3. Tulokset

Mittauspäivän aikana veneiden aiheuttamista häiriöistä mitattiin aallonkorkeutta, melua ilmasta ja veden alta, lisäksi arvioitiin ihmiskorvan kokemaa ilmaääntä. Ilmaääntä lukuun ottamatta mitatuille suureille ei ole käytössä kriteereitä. Tuloksia voidaan arvioida asettamalla haluttu raja-arvo veneiden mittaustulosten kuvaajiin.

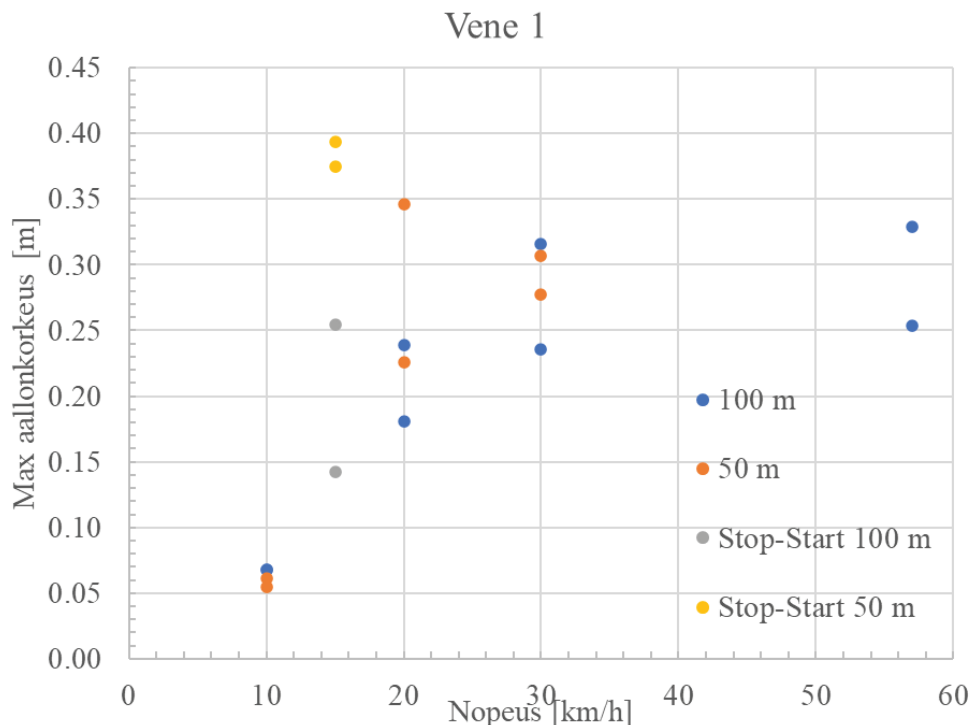
#### 3.1 Aaltomittaukset

Mitatut suurimmat aallot eri veneillä on esitetty taulukossa 4 alla ja aaltojen korkeus Kuvissa 4–8 nopeuden funktiona.

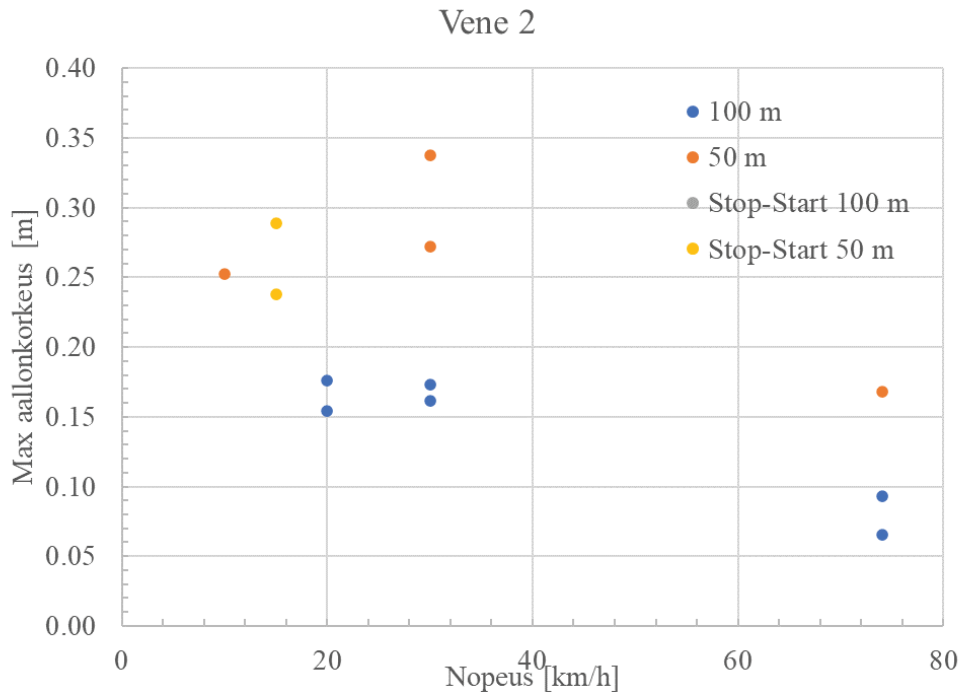
Hidastus – kiihdytyskokeen aaltomittauksen tulokset on sijoitettu kuvaajiin 15 km/h kohdalle, tulostaulukoissa hidastus – kiihdytyskokeen nopeus on merkitty '20-(5)-20'.

Taulukko 4. Suurimmat mitatut aallonkorkeudet ja aaltospektrin piikkiperiodit veneille.

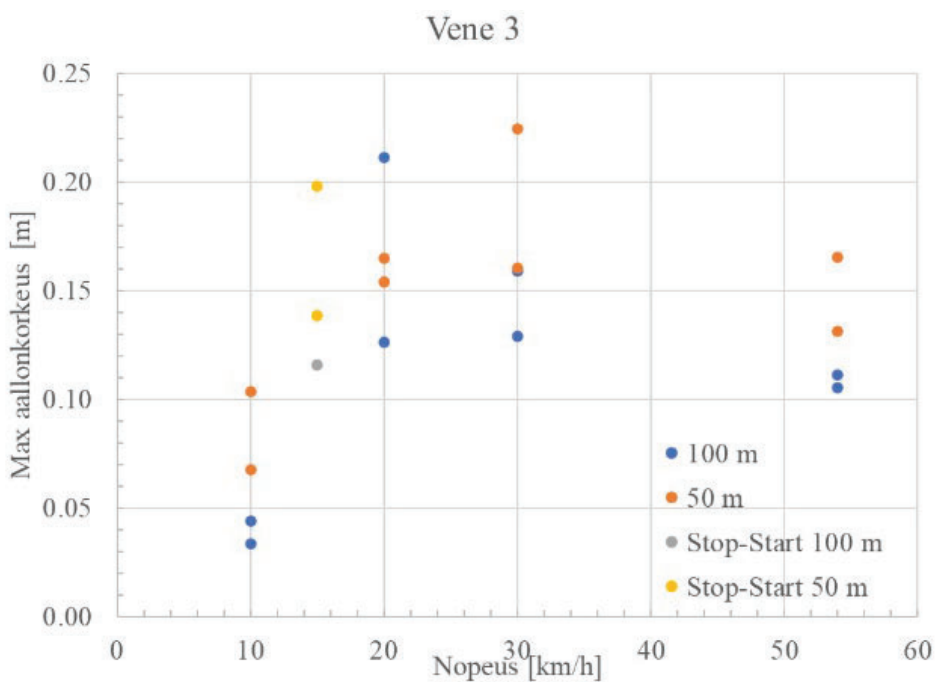
Vene	Suurin aalto [m]	Periodi [s]	Koe n:o	Nopeus [km/h]
1	0,39	3,1	30	20-(5)-20
2	0,34	1,7	77	30
3	0,22	1,9	40	30
4	0,27	1,8	59, 71	20
5	0,23	1,5	91	20



Kuva 4. Mitatut aallonkorkeudet veneelle 1.

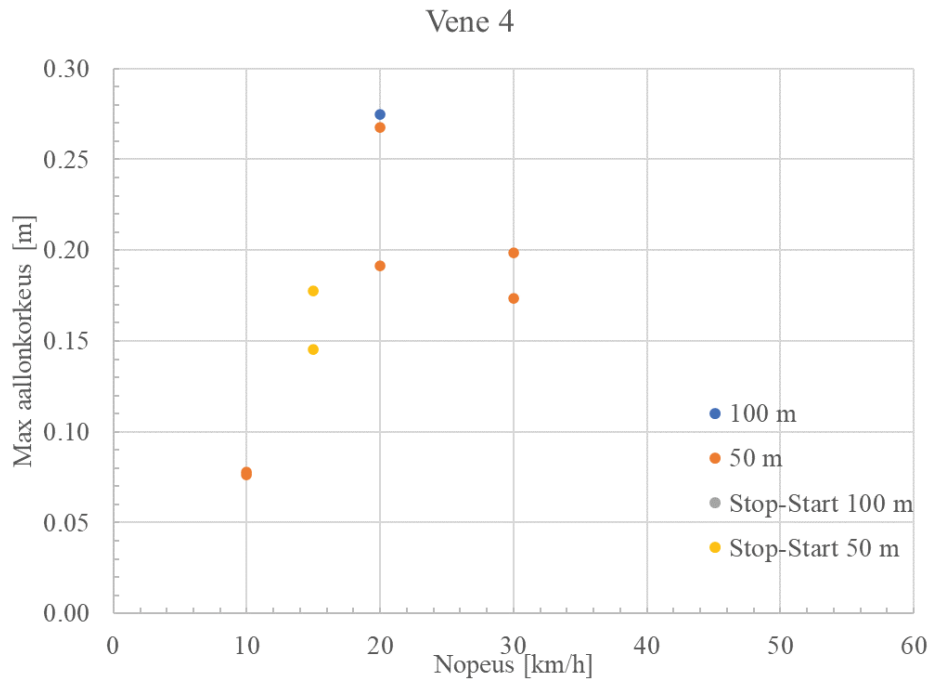


Kuva 5. Mitatut aallonkorkeudet veneelle 2.

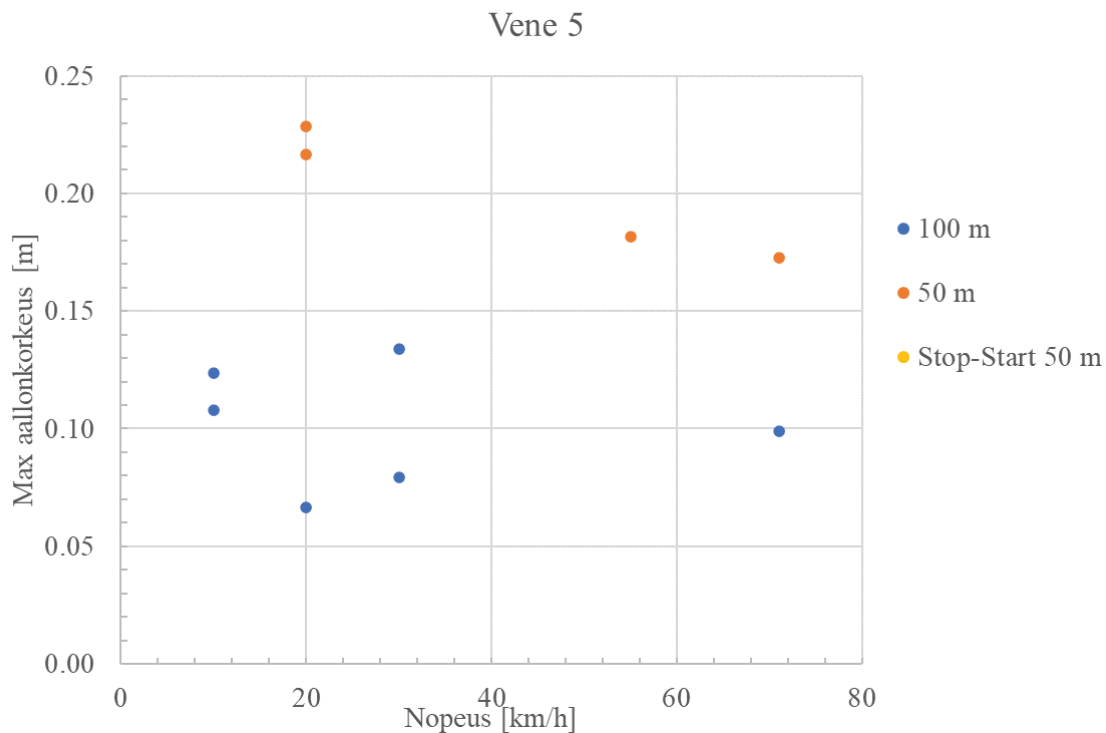


Kuva 6. Mitatut aallonkorkeudet veneelle 3.





Kuva 7. Mitatut aallonkorkeudet veneelle 4.



Kuva 8. Mitatut aallonkorkeudet veneelle 5.

Ohitus idän suuntaan aiheutti useissa tapauksissa suuremmat aallot kuin ohitus länteen päin. Aaltomittausten tuloksista on nähtävissä nopeuden vaikutus aallonkorkeuteen. Veneen ja laivan aaltovastus ja syntyvien aaltojen korkeus riippuu rungon muodosta, vesiviivan pituudesta ja nopeudesta. Aallonmuodostusvastuksen arvioimisessa käytetään dimensiotonta Frouden lukua,



$$Fn = U/\sqrt{g * L}, \text{ missä}$$

$$U = \text{vene\u00e4n nopeus [m/s]}$$

$$g = \text{painovoiman kiihtyvyy\u00e4}$$

$$L = \text{vesiviivapituus [m].}$$

Aallonmuodostus on *suurimmillaan*, kun Frouden luku on noin 1,0. Suuremmilla nopeuksilla vene alkaa liukua ja muodostuvat aallot pienenev\u00e4t. Mittausp\u00e4iv\u00e4n tulokset tukevat my\u00f6s t\u00e4t\u00e4 havaintoa. Iltap\u00e4iv\u00e4ll\u00e4 heikon etel\u00e4tuulen noustua pienempien veneiden kaikista ohituksista ei pystynyt erottamaan veneen aaltoja luonnon aallokosta. Frouden luvun laskemisessa on k\u00e4ytetty veneist\u00e4 julkisesti saatavaa tietoa, tarkkaa vesiviivan pituutta ei ole ollut k\u00e4ytett\u00e4viss\u00e4. Pienempien veneiden aallonkorkeusmittausten tuloksissa n\u00e4hd\u00e4\u00e4n, ett\u00e4 mitatut korkeimmat aallot asettuvat noin Frouden lukua 1 vastaaville nopeuksille.

Taulukko 5. Dimensioton Frouden luku veneille mittauksissa k\u00e4ytetyill\u00e4 nopeuksilla.

Vene	Fn @10 km/h [-]	Fn @20 km/h [-]	Fn @30 km/h [-]	Max nopeus [km/h]	Fn @max nopeus [-]
1	0,28	0,56	0,84	57	1,60
2	0,34	0,67	1,01	74	2,48
3	0,34	0,67	1,01	54	1,81
4	0,43	0,86	1,28	52	2,22
5	0,51	1,02	1,54	71	3,64

Kokeisiin osallistunut suurin vene, noin 8 t painoinen matkavene (vene 1), aiheutti suurimmat aallot, 39 cm hidastus-kiihdytyskokeessa. Yli 25 cm korkuisia aaltoja vene 1 aiheutti yleisesti 30 km/h nopeudesta alkaen.

Vene 2, noin 7 m retkivene, aiheutti yli 25 cm aaltoja hidastus-kiihdytyskokeessa sek\u00e4 ohituksissa 50 m et\u00e4isyydell\u00e4 30 km/h nopeudella. Suuremmalla nopeudella aiheutetut aallot olivat matalampia, alle 20 cm. Vene 3, noin 7 m pitk\u00e4 s\u00e4hk\u00f6per\u00e4moottorivene aiheutti suurimmillaan vain 22 cm korkuiset aallot 30 km/h nopeudella.

Veneet 2 ja 3 ovat mitoiltaan ja painoltaan l\u00e4hell\u00e4 toisiaan, n\u00e4iden veneiden suurimmat aiheutetut aallot syntyiv\u00e4t 30 km/h nopeudella, mik\u00e4 vastaa karkeasti veneiden liukukynnyksen nopeutta (Frouden luku noin 1,0).

Vene 4, noin 5 m pitk\u00e4 pulpettivene, aiheutti suurimmillaan 27 cm korkuiset aallot 20 km/h nopeudella. Muilla nopeuksilla veneen 4 aallot j\u00e4iv\u00e4t alle 20 cm korkuisiksi.

Vesiskootterin (vene 5) aiheuttamat aallot j\u00e4iv\u00e4t kaikissa kokeissa alle 25 cm korkuisiksi, suurimmillaan aallot olivat 23 cm korkuisia 20 km/h nopeudella 50 m et\u00e4isyydell\u00e4.

Veneiden 2 ja 5 mittaustuloksissa on saatu matalampia aaltoja suuremmalla et\u00e4isyydell\u00e4. Kuitenkin teoriassa aluksen muodostamien aaltojen energia (eli aaltojen korkeus) pienenee et\u00e4isyyden funktiona eritt\u00e4in hitaasti, koska aaltokuvio on enimm\u00e4kseen yhdensuuntaista. Luonnonolosuhteissa aallokkoa voivat vaimentaa satunnaiset tekij\u00e4t kuten vastainen tuuli, rannan muoto, aaltojen heijastuminen ja muu vesiliikenne.

Veneen 4 aaltomittauksissa iltap\u00e4iv\u00e4ll\u00e4 ei 100 m ohituset\u00e4isyyden aaltoja saatu mitattua yht\u00e4 koetta lukuun ottamatta luonnonaallokon takia. Veneill\u00e4 1 ja 3 et\u00e4isyyden vaikutus aallonkorkeuteen ei ole havaittavissa tuloksista.

### 3.2 Vedenalainen melu

Vedenalainen ääni mitattiin hydrofonilla, joka oli sijoitettu pohjaan 50 m etäisyydellä rannasta olevan poijun kohdalle noin 5 m syvyyteen. Käytettäessä 50 m ohitusetäisyyttä kokeissa oli veneen etäisyys hydrofonista vähintään veden syvyys. 100 m ohitusetäisyydellä veneen etäisyys hydrofonista oli lähimmillään noin 50 m.

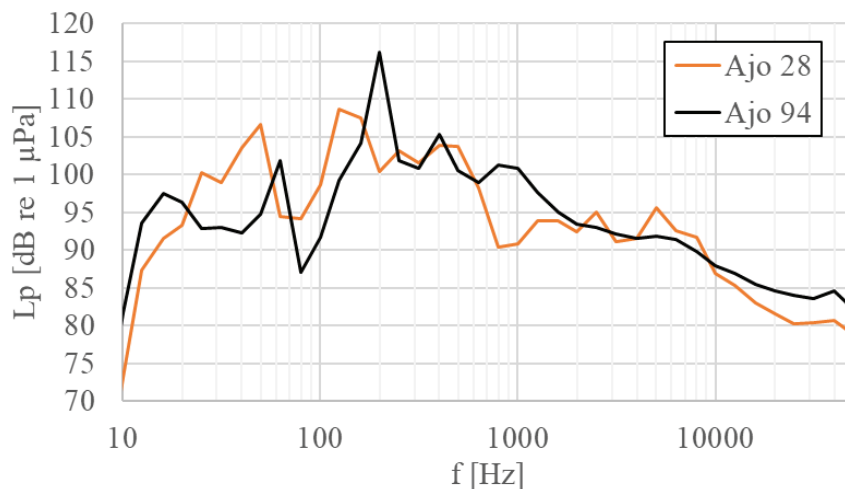
Taulukkoon 6 on koottu korkeimmat ekvivalentit äänenpainetasot veneille. Mitatut äänenpainetasot eri veneillä on esitetty kuvissa 10–14 nopeuden funktiona.

Hidastus – kiihdytyskokeen tulokset on sijoitettu kuvaajiin 15 km/h kohdalle, tulostaulukoissa hidastus – kiihdytyskokeen nopeus on merkitty '20-(5)-20'.

Kuvassa 9 on esitetty esimerkkinä sähkömoottoriveneen ja polttomoottoriveneen äänenpainetasot taajuustasossa terssikaistoittain. Ajo 28 vastaa 120 hv sähkövenettä (vene 3) vauhdilla 54 km/h, ja ajo 94 vastaa venettä 50 hv polttomoottoriveneettä (vene 4) vauhdilla 52 km/h. Taulukossa 6 nähdään että myös määritetty ekvivalentti äänenpainetaso oli samaa suuruusluokkaa. Polttomoottorin äänenpainetaso on 200 Hz kaistalla suurempi, samoin 0.8–1 kHz taajuudella sähkömoottorin äänenpainetaso oli selvästi alhaisempi. Sen sijaan taajuusalueilla n. 20–50 Hz sekä noin 100 Hz sähköveneen aiheuttama äänenpainetaso oli hieman korkeampi.

Taulukko 6. Korkeimmat ekvivalentit äänenpainetasot  $L_{eq}$  veden alla.

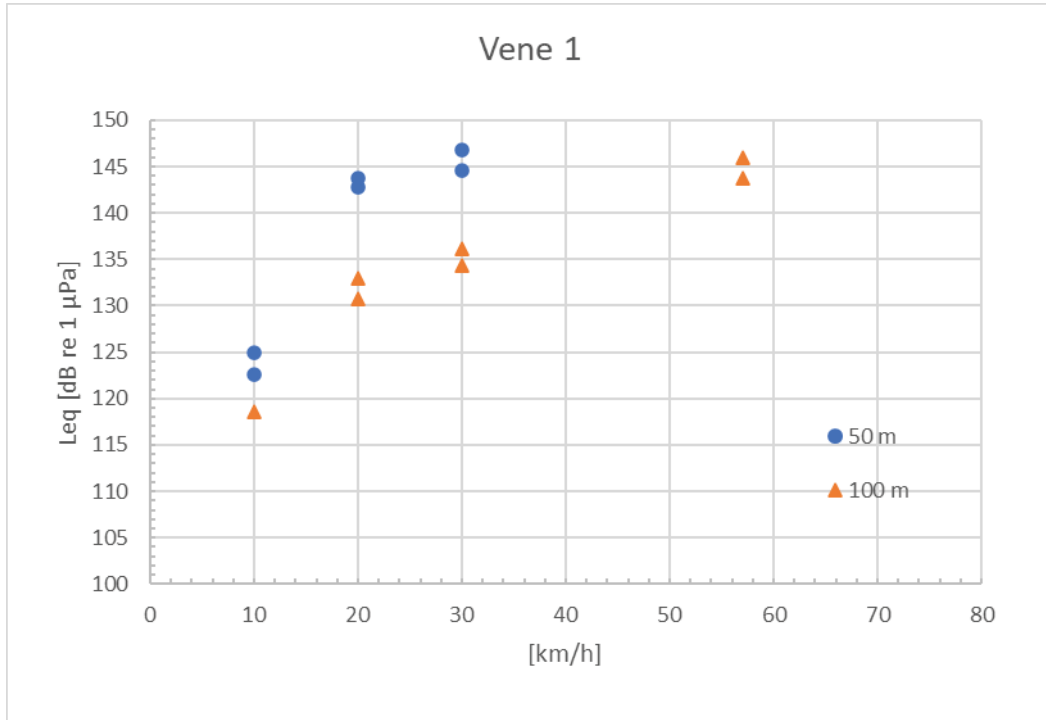
Vene	Ohitusetäisyys 50 m			Ohitusetäisyys 100 m		
	Koe n:o	$L_{eq}$ [dB re 1 $\mu$ Pa]	Nopeus [km/h]	Koe n:o	$L_{eq}$ [dB re 1 $\mu$ Pa]	Nopeus [km/h]
1	20	147	30	15	146	57
2	63	145	74	49	137	74
3	28	136	54	21	127	54
4	94	138	52	84	129	52
5	62	134	71	41	121	10



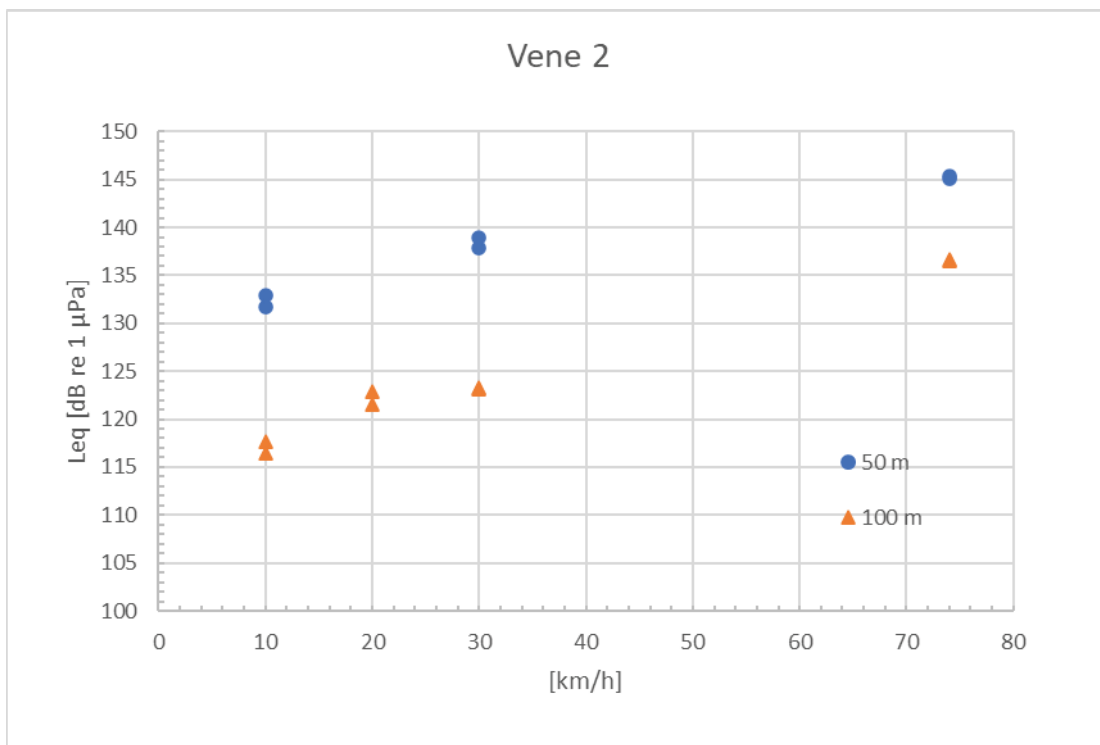
Kuva 9. Vedenalaisäänepainetasot ajoista 28 (sähkövene) ja 94 (polttomoottorivene) esitettyinä terssikaistoittain.



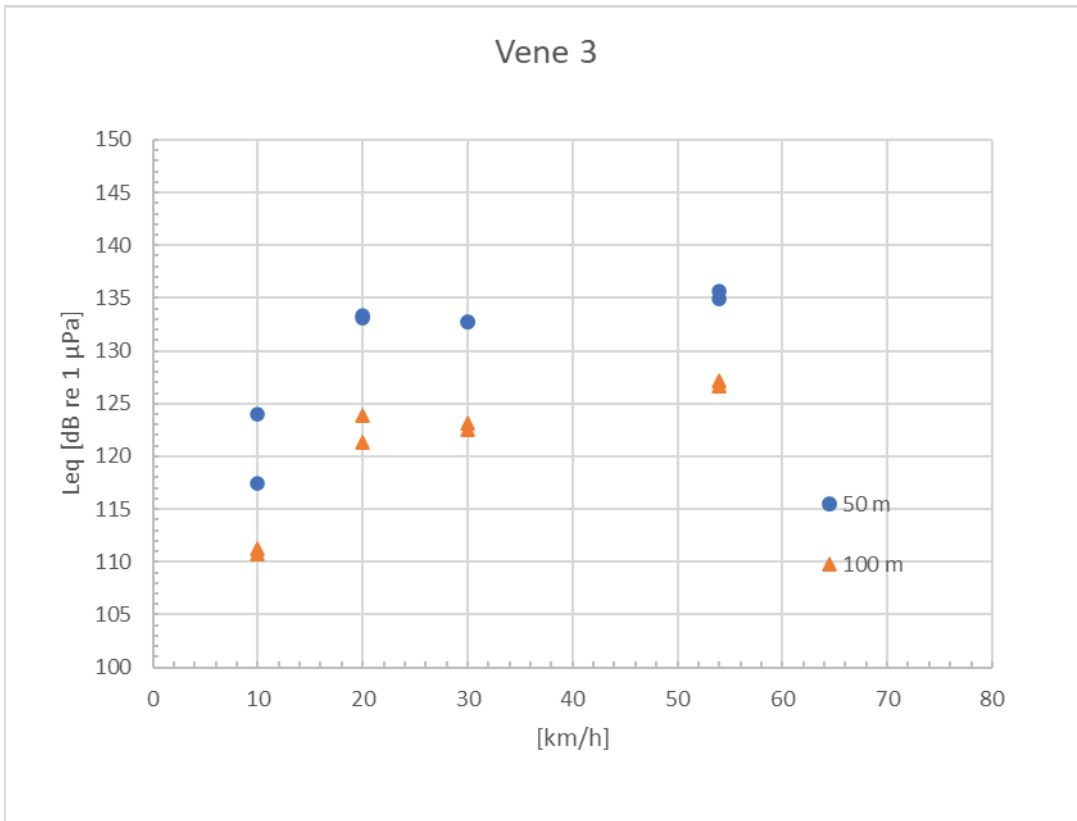
Veneillä 1, 3 ja 4 äänenpainetaso veden alla pieni noin 10 dB ohitusetäisyyden kasvaessa 50 metristä 100 metriin. Eri nopeuksilla veneen 2 vedenalainen äänenpainetaso pieni vastaavasti 8–15 dB etäisyyden kasvaessa. Vesiskootterilla, vene 5, vedenalaisen äänenpainetason ero oli n. 13 dB verrattaessa 50 m ja 100 m etäisyyksiä.



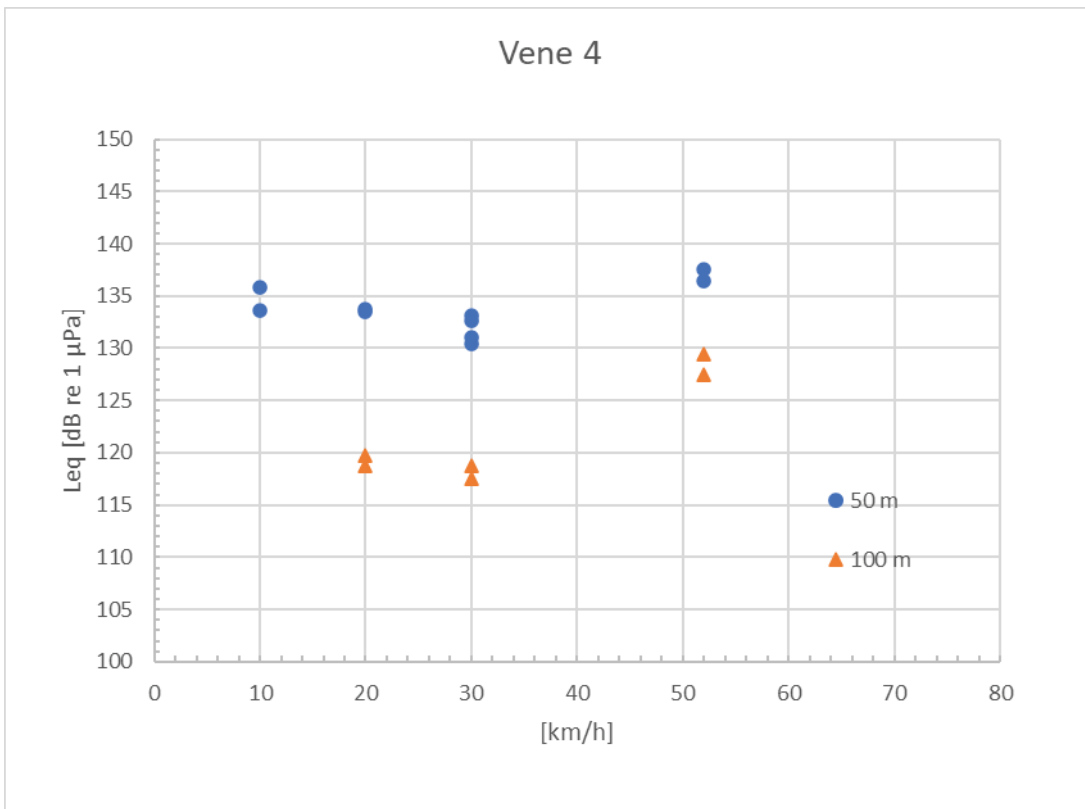
Kuva 10. Vedenalainen äänenpainetaso veneelle 1.



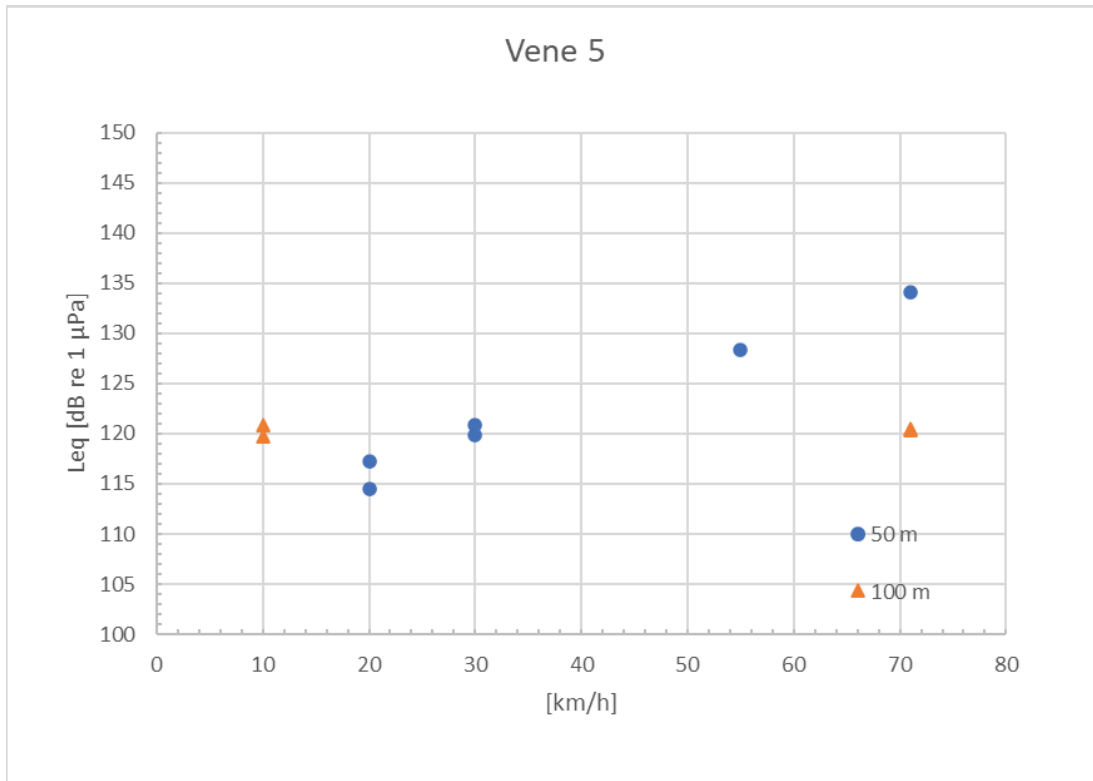
Kuva 11. Vedenalainen äänenpainetaso veneelle 2.



Kuva 12. Vedenalainen äänenpainetaso veneelle 3.



Kuva 13. Vedenalainen äänenpainetaso veneelle 4.



Kuva 14. Vedenalainen äänenpainetaso veneelle 5.

### 3.3 Melumittaus ilmasta

Korkeimmat äänialtistustasot ( $L_{eq}$ ) ilmasta mitatuille veneiden äänille on esitetty taulukossa (Taulukko 7). Voimakkaimmat äänitasot sekä veteen että ilmaan esiintyvät käytännössä samoissa kokeissa kaikilla veneillä. Äänialtistustaso kasvaa veneen nopeutta lisättäessä. Äänialtistustasot nopeuden funktiona on esitetty kuvissa 15–19. Sähköperämoottorivenettä (vene 3) lukuun ottamatta kaikilla veneillä korkeimmat ilmaäänitasot olivat 75 dB–77 dB välillä. Sähköveneen korkein mitattu äänenpainotaso oli 72 dB.

Hidastus – kiihdytyskokeen tulokset on sijoitettu kuvaajiin 15 km/h kohdalle.

Taulukko 7. Korkeimmat äänialtistustasot venekohtaisesti.

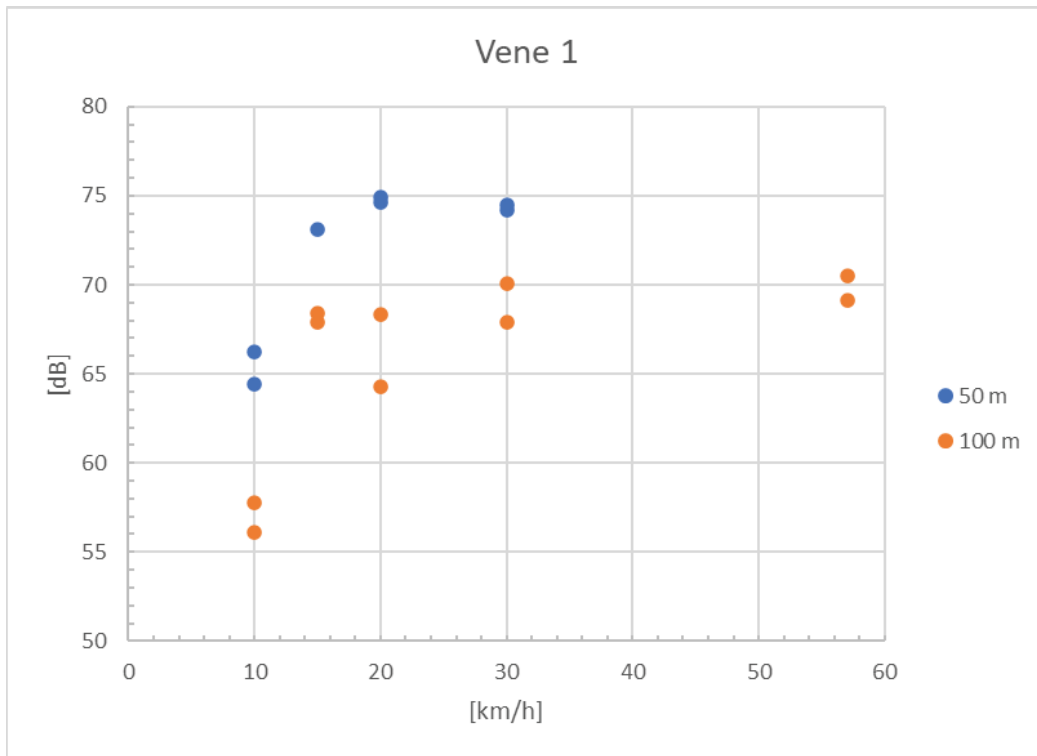
Vene	50 m			100 m		
	Koe n:o	$L_{eq}$ [dB]	Nopeus [km/h]	Koe n:o	$L_{eq}$ [dB]	Nopeus [km/h]
1	20, 23, 24	75	30, 20, 20	16	71	57
2	63	77	74	49	74	74
3	28, 40	72	54, 30	21, 22	67	54
4	93, 94	76	52	84	73	52
5	62	76	71	55	72	71

Ilmamelun mittausten osalta tulokset ovat kaikille veneille samantyyppisiä. Kaikilla veneillä korkeimmat äänitasot saavutetaan suurimmalla nopeudella ja pienimmällä ohitusetäisyydellä.

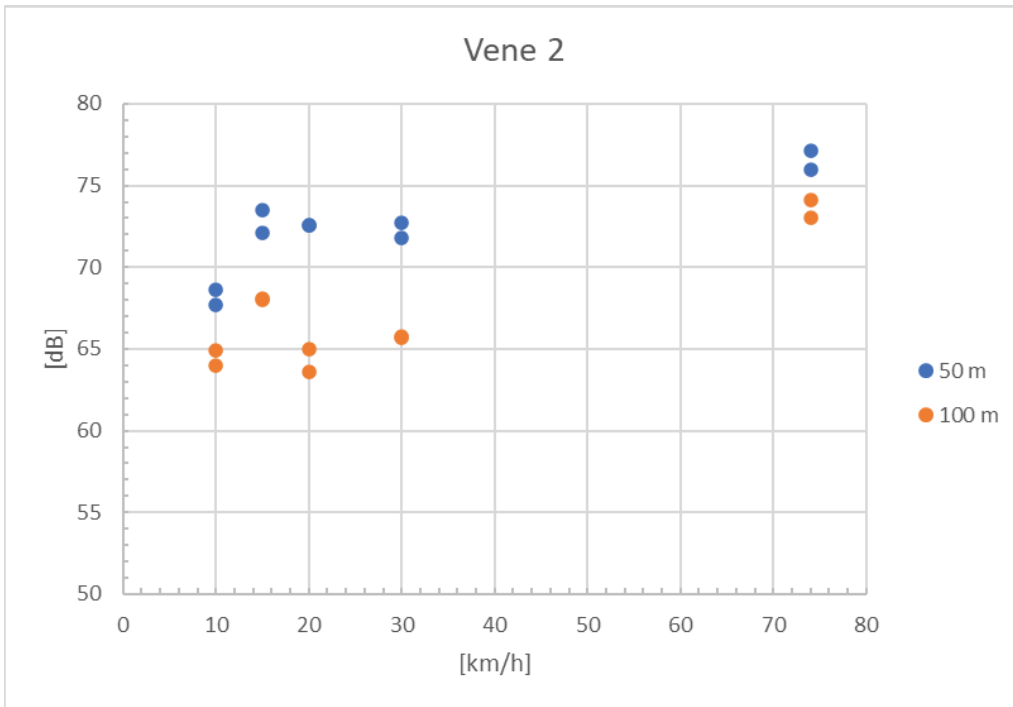


Alhaisinta ääni on ohituksissa hiljaisimmalla nopeudella. Nopeusalueella 20–30 km/h ja jopa hidastus-kiihdytyskoekin mukaan otettuna veneiden aiheuttama äänitaso ei olennaisesti muutu.

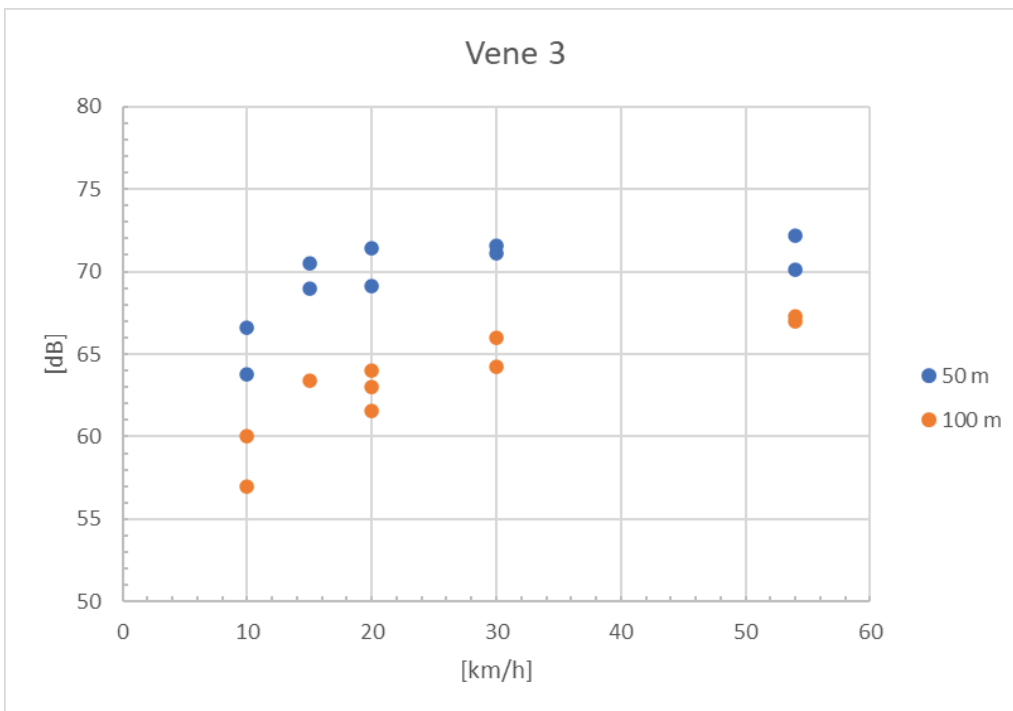
Veneellä 1 äänialtistustaso pieneni 5–8 dB ohitusetäisyyden kasvaessa 50 metristä 100 metriin. Veneillä 3 ja 3 äänialtistustaso pieneni vastaavasti 3–7 dB etäisyyden kasvaessa. Veneellä 4 etäisyyden kasvaessa äänialtistustaso ohituksissa pieneni noin 3 dB etäisyyden kasvaessa 50:stä 100 metriin. Vesiskootterilla, vene 5, äänialtistustaso aleni 5–10 dB verrattaessa 50 m ja 100 m etäisyyksiä, suurin ero oli hitaimmalla nopeudella 10 km/h.



Kuva 15. Mitattu ilmaäänitaso veneelle 1.

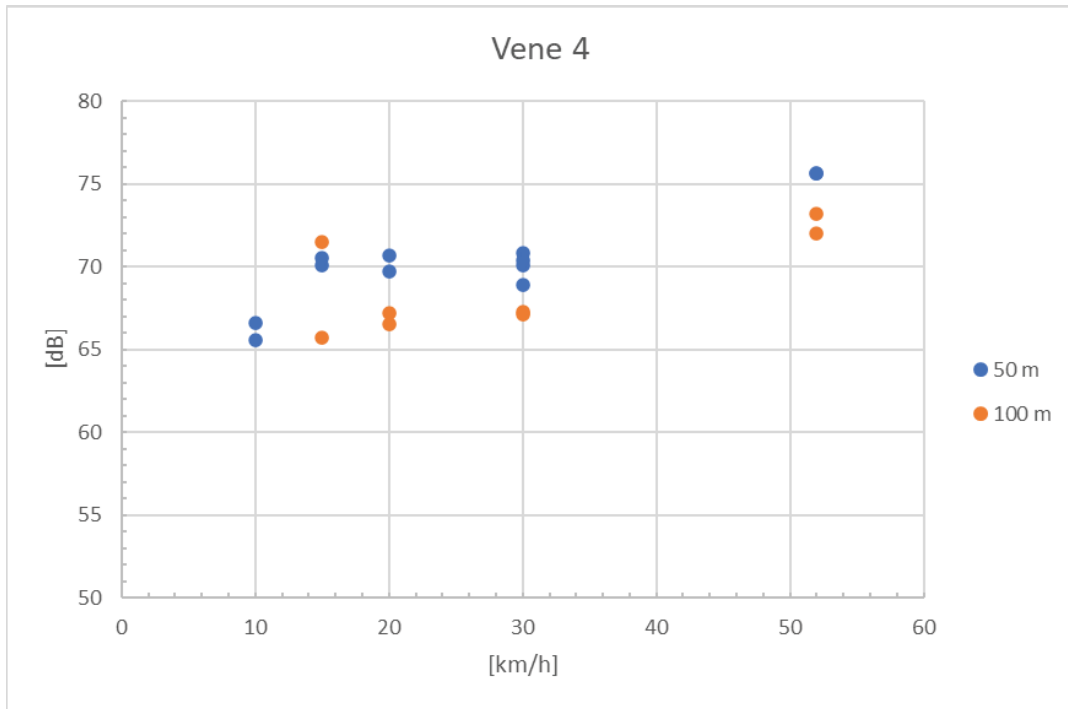


Kuva 16. Mitattu ilmaäänitaso veneelle 2.

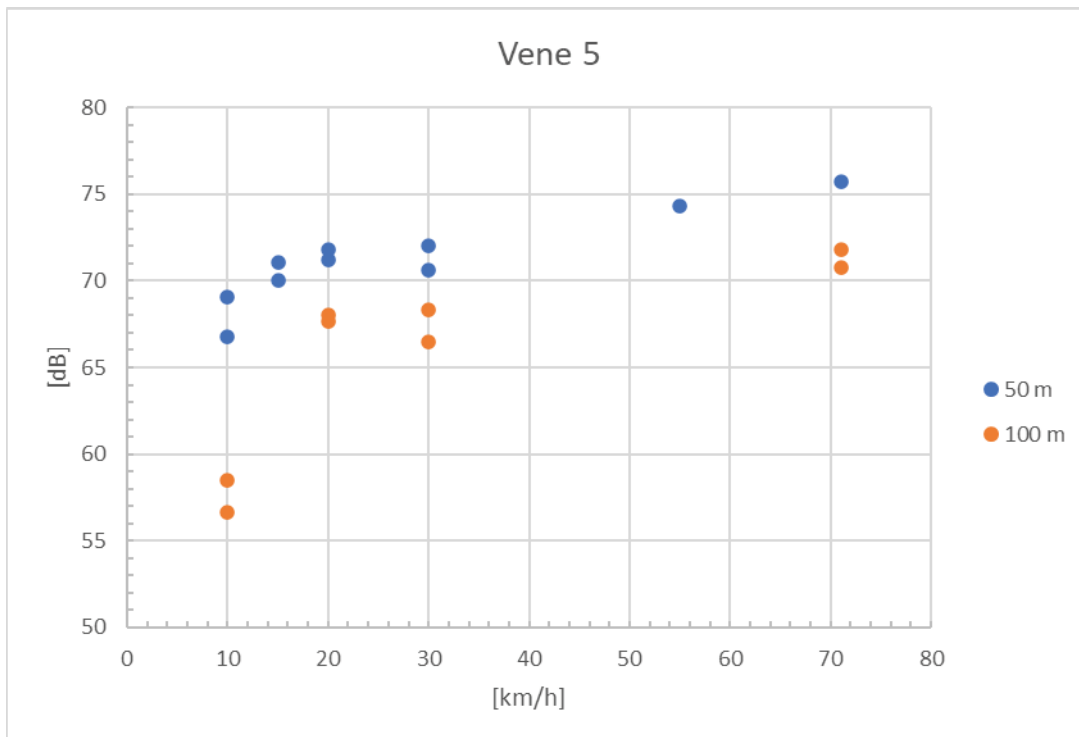


Kuva 17. Mitattu ilmaäänitaso veneelle 3.





Kuva 18. Mitattu ilmaäänitaso veneelle 4.



Kuva 19. Mitattu ilmaäänitaso veneelle 5.

Melumittauksen laajemmat tulokset on esitetty liitteissä 3 ja 4.



### 3.4 Häiritsevyyden arviointi

Mittauspäivän aikana 12 henkinen arviointiraati kuunteli veneiden ohitusten aiheuttamaa ääntä ja arvioi jokaisen ohituksen häiritsevyyttä asteikolla yhdestä viiteen. Arviointiraadilla ei ollut näköyhteyttä ohittaviin veneisiin kokeiden aikana. Häiritsevyyden arvioinnissa käytettiin samaa asteikkoa kuin aiemmassa mittauksessa vuonna 1999.

Häiritsevyyden arviointiasteikko:

1. Ei häiritse lainkaan.
2. Häiritsee vähän.
3. Häiritsee jonkin verran.
4. Häiritsee melko paljon.
5. Häiritsee erittäin paljon.

Häiritsevyyden arvioinneista on laskettu keskiarvot ja keskihajonnat jokaiselle ohitukselle. Korkeimmat keskiarvot häiritsevyyden arvioinneista on Taulukossa 8. Häiritsevyyden keskiarvot kaikille veneille nopeuden funktiona on esitetty kuvissa 20–24.

Hidastus – kiihdytyskokeen tulokset on sijoitettu kuvaajiin 15 km/h kohdalle.

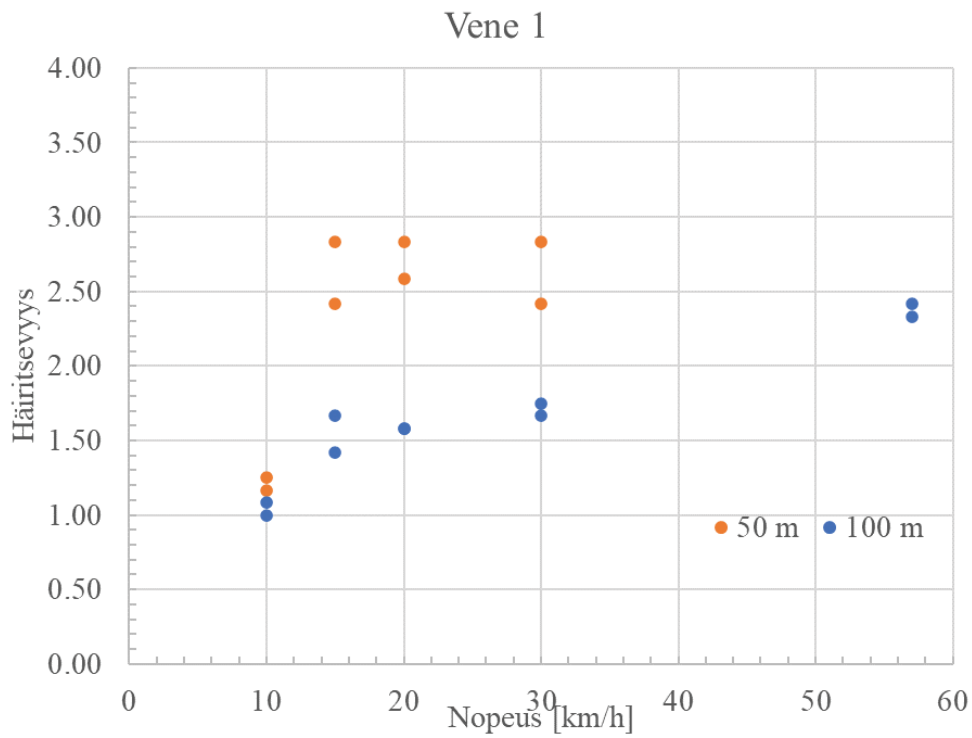
Taulukko 8. Korkeimmat keskiarvot häiritsevyyden arvioinneista.

Vene	50 m			100 m		
	Koe n:o	Keskiarvo	Nopeus [km/h]	Koe n:o	Keskiarvo	Nopeus [km/h]
1	20, 24, 29	2,83	30, 20, 15	16	2,42	57
2	63	3,58	74	50	2,90	74
3	28	2,67	54	21, 22	1,67	54
4	94	3,50	52	83, 84	2,50	52
5	62	3,33	71	55	2,75	71
5	104	4,00	häiriöajo	103	3,17	häiriöajo

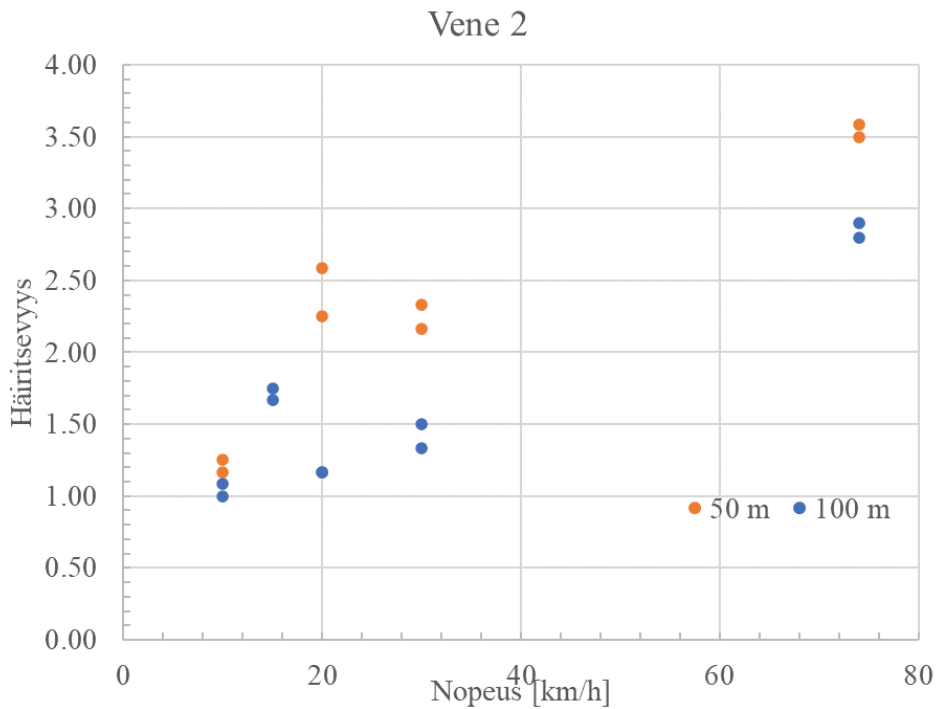
Venekohtaiset keskiarvot kaikista kokeista on esitetty taulukossa 9. Sähköperämoottorivene erottuu vertailussa matalammalla häiritsevyydsarvioinnilla muihin veneisiin verrattuna. Muilla kolmella veneellä ja vesiskootterilla häiritsevyydsarviot ovat hyvin lähellä toisiaan. Vesiskootterilla tehty häiriöajo korottaa arviointituloksia, jos keskiarvon laskentaan otetaan myös häiriöajot mukaan. Yleisesti koettu häiritsevyys ja ilmamelu kasvavat veneen nopeuden kasvaessa ja ohitusetäisyyden pienentyessä.

Taulukko 9. Venekohtaiset keskiarvot häiritsevyyden arvioinneista kaikista kokeista.

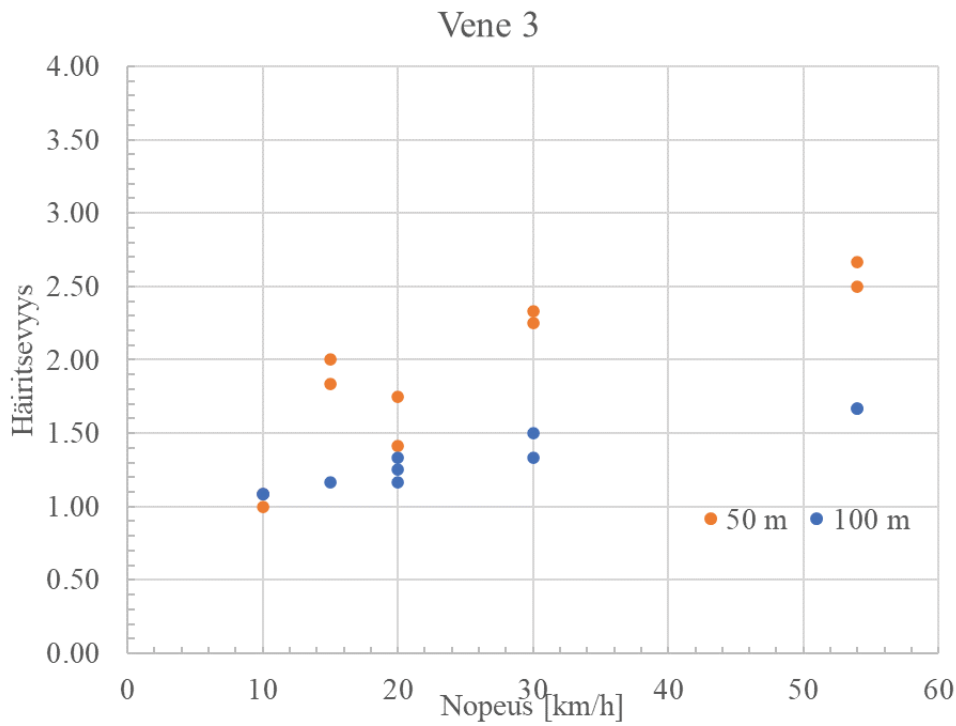
Vene	Keskiarvo kaikista arvioinneista	50 m	100 m	
1	1,94	2,29	1,65	
2	2,00	2,38	1,59	
3	1,60	1,88	1,33	
4	1,93	2,15	1,60	
5	1,94	2,22	1,59	Ilman häiriöajoja
5	2,11	2,38	1,77	Häiriöajot mukana



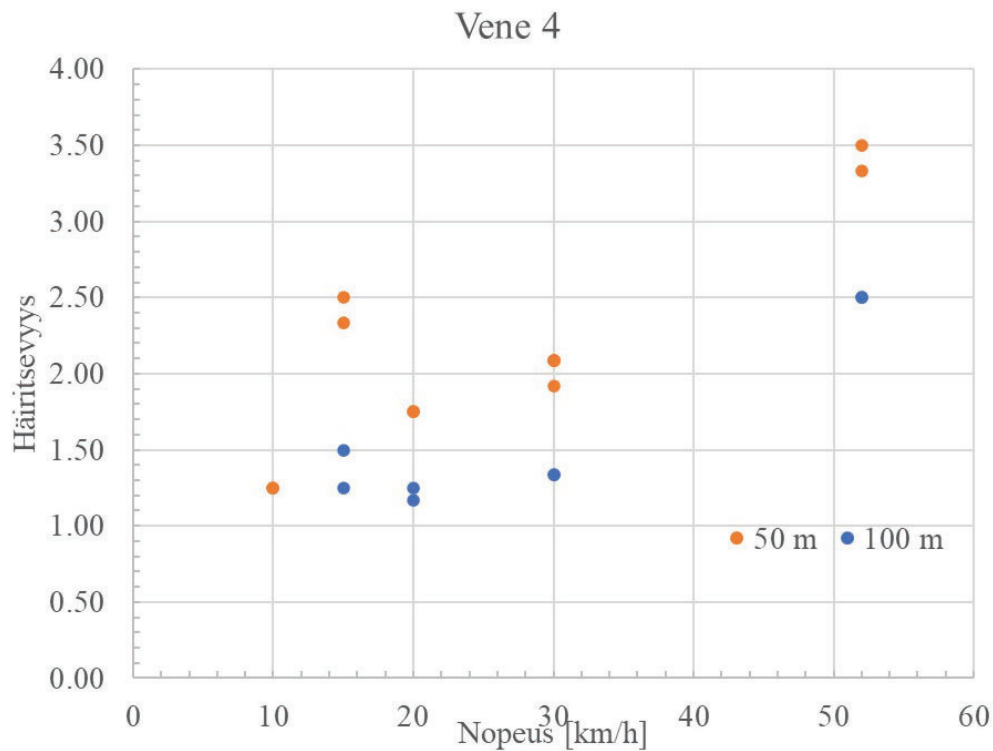
Kuva 20. Häiritsevyyssarvioinnit veneelle 1.



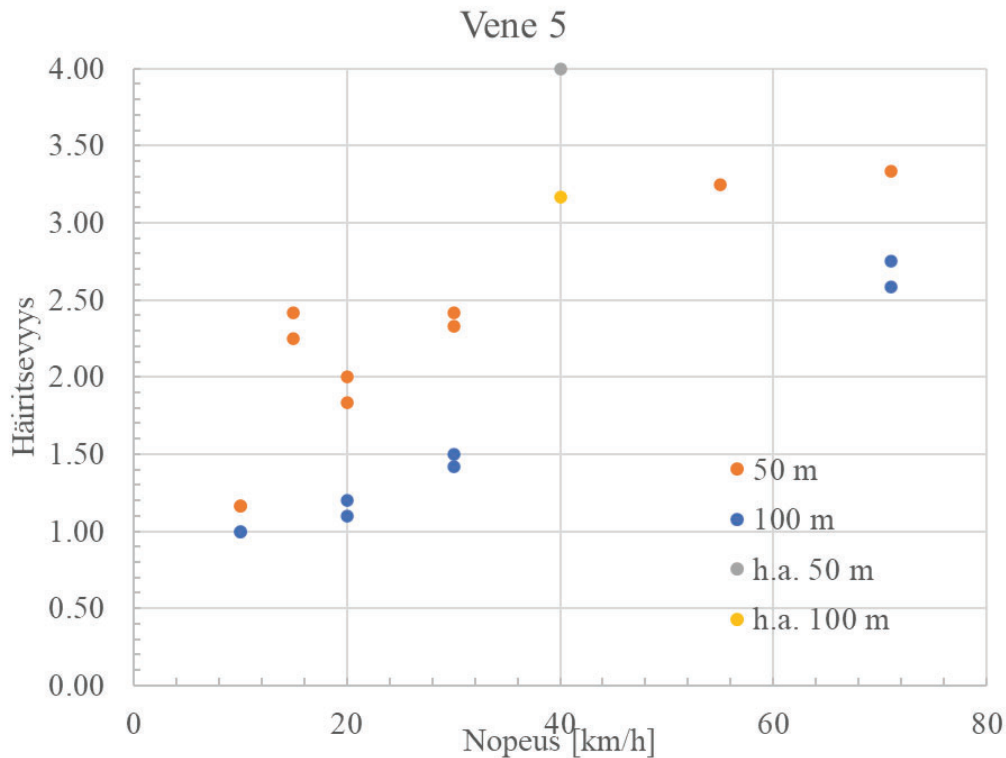
Kuva 21. Häiritsevyyssarvioinnit veneelle 2.



Kuva 22. Häiritsevyyssarvioinnit veneelle 3.



Kuva 23. Häiritsevyyssarvioinnit veneelle 4.



Kuva 24. Häiritsevyydsarviointit veneelle 5 (h.a. = häiriöajo).

#### 4. Johtopäätökset ja yhteenveto

Yhden päivän kokeissa mitattiin veneiden eri ajonopeuksilla aiheuttamaa aallokkoa, melua ja vedenalaista melua. Lisäksi veneiden ohiajon häiritsevyyttä arvioi rannalla 12-henkinen arviointiraati. Mittauksiin osallistui neljä moottorivenettä ja yksi vesiskootteri. Kokeissa mitattiin veneiden eri ajonopeuksilla aiheuttamaa aallokkoa, melua ja vedenalaista melua. Lisäksi veneiden ohiajon häiritsevyyttä oli rannalla arvioimassa 12-henkinen arviointiraati. Yhtensä mitattiin 98 veneiden ohitusta. Käytetyt ajonopeudet ohituksissa olivat 10–74 km/h.

Aiheutettujen aaltojen korkeus riippuu veneen koosta ja nopeudesta, nopeilla veneillä liukuun nousun jälkeen aallot pienenevät. Korkeimmat mitatut aallot olivat 39 cm suurimmalle kokeisiin osallistuneelle 12 m matkaveneelle.

Aluksen muodostamien aaltojen energia häviää etäisyyden funktiona erittäin hitaasti, koska aalto on yhdensuuntaista. Toisin sanoen, aaltosysteemi etenee suorana rintamana aluksesta poispäin, ja aaltojen energia ei leviä suuremmalle alueelle kuin hyvin hitaasti huomattavasti mitattua pidemmällä etäisyydellä. Mittauksissa käytetyt 50 m ja 100 m ohitusetäisyydet eivät myöskään osoita näillä etäisyyksillä aluksen muodostamassa aallokossa (korkeus ja periodi) merkittäviä eroja.

Aallon vaikutus rannassa ja rantaan kiinnitetyille laitureille tai muille aluksille riippuu monista tekijöistä. Kelluvien kappaleiden vaste (liikkeet) aallokolla riippuu kappaleen geometriasta ja massajakaumasta kaikkiin kuuteen liikkeen vapausasteen suuntaan, lisäksi kiinnitysten ominaisuudet vaikuttavat. Kelluvan kappaleen vaste voidaan usein esittää lineaarisena taajuudesta riippuvana ns. RAO (Response Amplitude Operator) funktiona. Aaltoherätteen ollessa erittäin suurilla taajuuksilla (pienellä periodilla) kappale ei reagoi lainkaan, jokaiselle kappaleelle sen ominaisuuksista riippuen löytyy resonanssitaajuus, jolloin kappaleen heräte on suurinta.



Pienemmille taajuuksille (suuremmille aallon periodeille) mentäessä kappaleen vaste on sama kuin aallon amplitudi. Tämän linearisoidun mallin mukaan kappaleen vaste on siten suoraan riippuvainen RAO funktiosta ja aallon korkeudesta.

Kohdatessaan rannan aallokko joko heijastuu täysin jyrkän ja syvän rannan tapauksessa tai murtuu vähitellen loivan rannan tapauksessa. Rannan ja rakenteiden geometriasta riippuen paikalliset veden liikkeet (rannan aallokko) sekä rakenteiden vasteet voivat olla hyvin erityyppisiä. Siten häiritsevyys rannan asukkaille ja ympäristölle on hyvin subjektiivisesti ja paikallisesti vaihteleva. Aaltojen ja aallokon häiritsevyydelle ei ole olemassa yleisiä kriteereitä, raportoidut mittaustulokset antavat vertailukelpoisia lukuarvoja erilaisten veneiden eri nopeuksilla aiheuttamille aalloille.

Melumittauksista ilmaan ja veden alle havaitaan, että äänitaso nousee nopeuden kasvaessa. Sähköperämoottorin aiheuttama ilma- ja vedenalainen melu on jonkin verran polttomoottoriveneitä pienempää.

Raadin arvioinneissa häiritsevimmäksi koettiin erittäin kovaa läheltä ajetut ohitukset sekä vesiskootterilla ajettu ns. häiriöajo. Moottorityypeistä sisäperämoottori ja sähköperämoottori koettiin vähiten häiritseviksi ja polttomoottoriperämoottorit koettiin tehosta riippumatta häiritsevän saman verran kuin vesiskootteri. Toisaalta 'ei häiritse lainkaan' -arvioita saatiin koko raadilta useille hiljaa ajaville veneille 100 m ohitusetäisyydellä. Häiritsevyyden arvioinneissa ohitustilanteet saivat raadilta arvioita pienimmästä (1. Ei häiritse lainkaan) aina suurimpaan (5. Häiritsee erittäin paljon).

Yleisesti voidaan todeta, että melun häiritsevyyteen selkeästi vaikuttava tekijä on veneen nopeus. Pienimmällä nopeudella mitattu äänitaso ja koettu melun häiritsevyys olivat pienimmillään. Toisaalta taas suurimmilla nopeuksilla mitattu äänitaso sekä koettu melun häiritsevyys olivat suurimmillaan. Äänitaso ja koettu häiritsevyys eivät kuitenkaan nouse lineaarisesti (tasaisesti) nopeudesta riippuen vaan nopeuden muutokset keskimmaisella nopeusalueella (20–30 km/h) eivät aiheuta merkittävää äänitason eikä häiritsevyyden muutosta. Ohitusetäisyyden kasvattaminen pienentää äänitasoa ja häiritsevyyttä yksikäsitteisesti.

## 5. Lähdeviitteet

---

1. ISO 17208-1. Underwater acoustics — Quantities and procedures for description and measurement of underwater sound from ships. 2016.
2. Veneiden melu ja aallokon muodostus, Suomen ympäristö 422. Ympäristöministeriö 2000.
3. VTT Valmistustekniikka. Häiritsevän veneilyn kokeilut kesällä 1999. Tutkimusselostus VAL34-992399.

## Liitteet

---

1. Koeohjelma – pöytäkirja.
2. Analyysimenetelmät.
3. Tulostaulukot mittauksista ja arvioinneista.
4. Akukon Oy. Raportti.
5. Videotallenteet kokeista.



## Veneiden aiheuttamien aaltojen ja melun mittaukset 19.9.2024

Koe N:o	Klo [hhmm]	Vene N:o	Nopeus [km/h]	Etäisyys [m]	Ajosuunta	Kommentti
1	1002	1	10	100	länteen	Tuuli NW ~2 m/s
2	1005	1	10	100	itään	
3	1012	3	10	100	länteen	
4	1016	3	10	100	itään	
5	1020	1	20	100	länteen	
6	1022	1	20	100	itään	
7	1024	3	20	100	länteen	kävelyä aallonmurtajalla
8	1027	3	20	100	itään	hanhiparvi
9	1029	1	30	100	länteen	lentokone samaan aikaan aallot
10	1033	1	30	100	itään	
11	1042	2	20	100	länteen	
12	1045	2	20	100	itään	
13	1048	3	30	100	länteen	varikset, lokit
14	1050	3	30	100	itään	
15	1053	1	57	100	länteen	lokit
16	1055	1	57	100	itään	varis, toinen vene
17	1058	2	30	100	länteen	
18	1100	2	30	100	itään	toinen vene idästä
19	1104	1	30	50	länteen	
20	1106	1	30	50	itään	ajon 20 aaltoja aluksi
21	1108	3	54	100	länteen	
22	1110	3	54	100	itään	
23	1113	1	20	50	länteen	
24	1123	1	20	50	itään	Tesla aallonmurtajalla
25	1123	1	10	50	länteen	nouseva lentokone
26	1127	1	10	50	itään	



Koe N:o	Klo [hhmm]	Vene N:o	Nopeus [km/h]	Etäisyys [m]	Ajosuunta	Kommentti
27	1129	3	54	50	länteen	
28	1134	3	54	50	itään	
29	1137	1	20-(5)-20	50	länteen	
30	1140	1	20-(5)-20	50	itään	
31	1143	3	20	100	länteen	tasainen nopeus
32	1145	3	20-(5)-20	100	itään	
33	1147	1	20-(5)-20	100	länteen	purjevene Suomenojalta koneella
34	1151	1	20-(5)-20	100	itään	
35	1153	3	20-(5)-20	50	länteen	
36	1155	3	20-(5)-20	50	itään	
37	1157	2	10	100	länteen	liukuva vene idästä
38	1200	2	10	100	itään	toisen veneen aallot ensin
39	1204	3	30	50	länteen	
40	1206	3	30	50	itään	2 muuta venettä
41	1210	5	10	100	länteen	toisen veneen aallot
42	1214	5	10	100	itään	
43	1218	3	20	50	länteen	
44	1218	3	20	50	itään	
45	1220	3	10	50	länteen	purjevene lännestä koneella
46	1222	3	10	50	itään	tykki, muita veneitä
47	1224	5	20	100	länteen	raati 10 h (47-50)
48	1343	5	20	100	itään	tykki, lähest. uusittu
49	1347	2	74	100	länteen	SW ~1-2 m/s
50	1350	2	74	100	itään	
51	1353	5	30	100	länteen	
52	1355	5	30	100	itään	maanrakennuskolinaa Suomenojalta

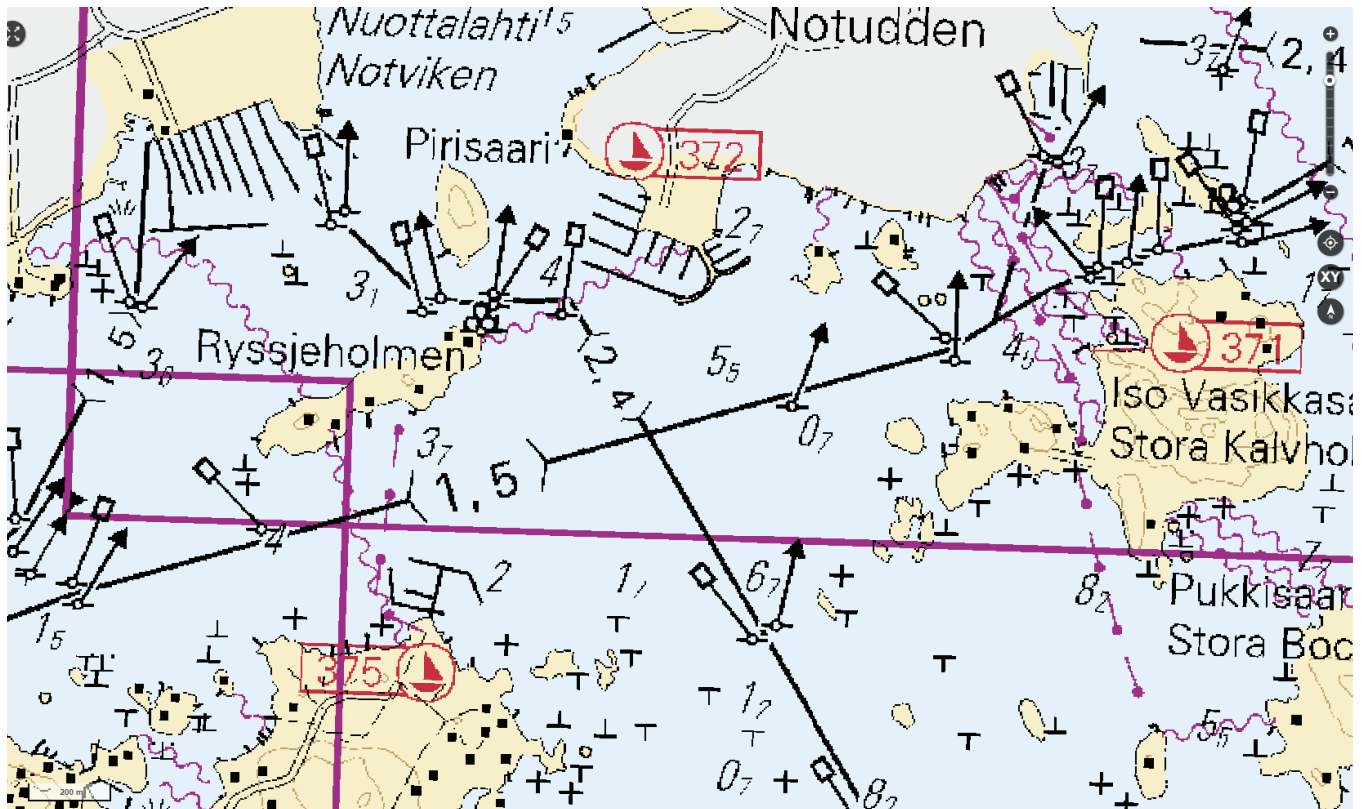




Koe N:o	Klo [hhmm]	Vene N:o	Nopeus [km/h]	Etäisyys [m]	Ajosuunta	Kommentti
53	1402	4	10	50	länteen	2 muuta venettä
54	1404	4	10	50	itään	SSW 2-3 m/s
55	1407	5	71	100	länteen	
56	1410	5	71	100	itään	
57	1412	2	20-(5)-20	100	länteen	drone ylös
58	1416	2	20-(5)-20	100	itään	
59	1418	4	20	50	länteen	
60	1423	4	20	50	itään	idästä FB vene 6 kn
61	1427	5	55	50	länteen	aaltoja koealueella
62	1430	5	71	50	itään	drone alas
63	1433	2	74	50	länteen	
64	1436	2	74	50	itään	toinen veneen perässä, dr. ylös
65	1438	4	30	50	länteen	tuuliaallot ~5 cm?
66	1441	4	30	50	itään	
67	-----		40	100	länteen	=ajo 41
68	-----		40	100	itään	=ajo 42
69	1443	2	10	50	länteen	
70	1447	2	10	50	itään	S ~2-3 m/s, tuuliaallot ~5 cm?
71	1451	4	20	100	länteen	
72	1453	4	20	100	itään	ATR lentokone
73	1455	2	20	50	länteen	Buster etelästä
74	1458	2	20	50	itään	
75	-----		20	100	länteen	=ajo 47
76	-----		20	100	itään	=ajo 48
77	1507	2	30	50	länteen	
78	1510	2	30	50	itään	



Koe N:o	Klo [hhmm]	Vene N:o	Nopeus [km/h]	Etäisyys [m]	Ajosuunta	Kommentti
79	1513	4	30	100	länteen	
80	1514	4	30	100	itään	
81	1517	2	20-(5)-20	50	länteen	muuta liikennettä
82	1522	2	20-(5)-20	50	itään	
83	1525	4	52	100	länteen	
84	1527	4	52	100	itään	
85	1532	4	20-(5)-20	100	länteen	
86	1534	4	20-(5)-20	100	itään	
87	1538	5	10	50	länteen	
88	1541	5	10	50	itään	drone ylös
89	1543	4	30	50	länteen	
90	1547	4	30	50	itään	
91	1552	5	20	50	länteen	aloitus uusittu, purjeverne, pienkone, suihkukone
92	1553	5	20	50	itään	SE ~4 m/s
93	1557	4	52	50	länteen	
94	1558	4	52	50	itään	
95	1600	5	30	50	länteen	
96	1602	5	30	50	itään	buster etelästä
97	1605	4	20-(5)-20	50	länteen	suihkukone
98	1607	4	20-(5)-20	50	itään	vesijetti idästä
99	----		täysi nop.	50	länteen	=ajo 61
100	----		täysi nop.	50	itään	=ajo 62
101	1609	5	20-(5)-20	50	länteen	
102	1613	5	20-(5)-20	50	itään	
103	1617	5	häiriöajo	100	länteen	äänekäs jenkkivene ..
104	1618	5	häiriöajo	50	itään	..Suomenojalta etelään



Pysäytys-kiihdytys -ajoissa nopeus oli 20 - tyhjäkäyntikierrokset - 20 km/h.

Täydet nopeudet:

Vene 1. 31 kn (57 km/h)

Vene 2. 40 kn (74 km/h)

Vene 3. 29 kn (54 km/h)

Vene 4. 28,3 kn (52,5 km/h)

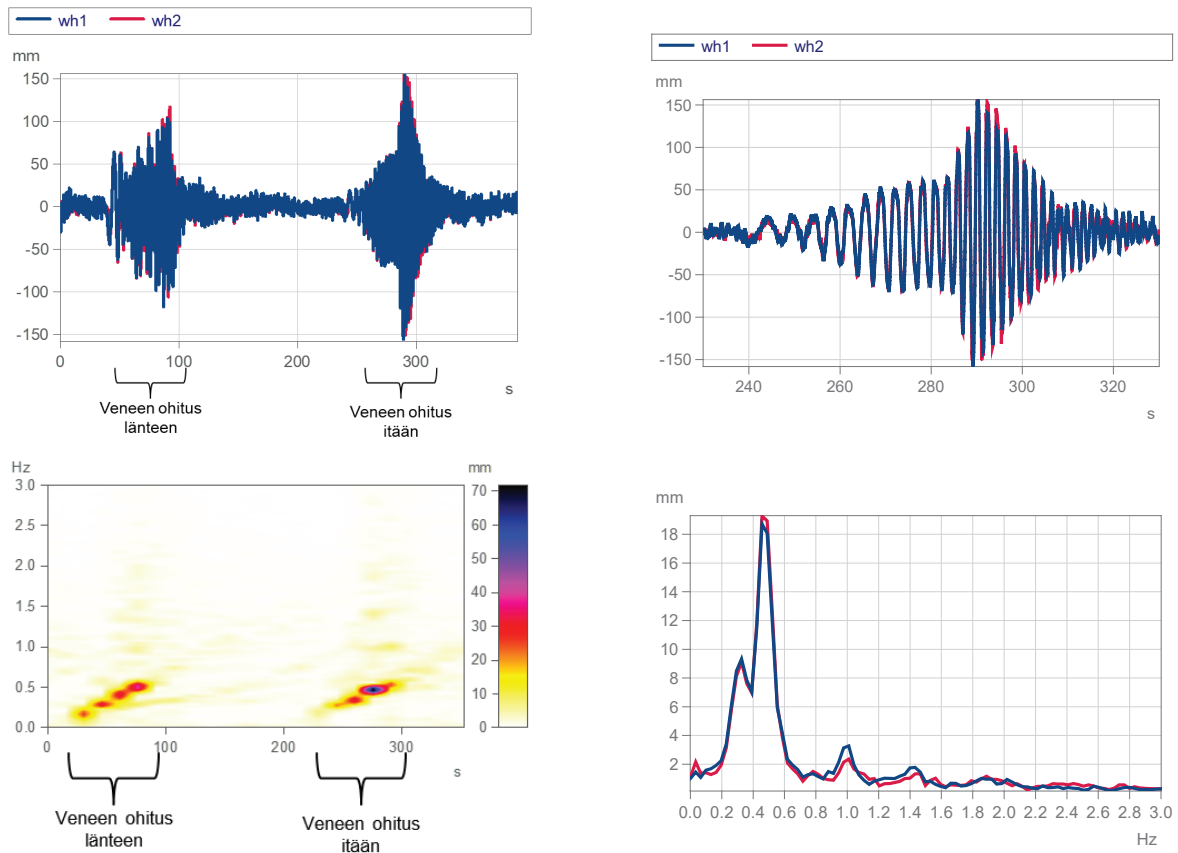
Vene 5. 38 kn (71 km/h)

Koe 61 aallot haittasivat ja nopeus jäi 55 km/h:iin.

## Liite 2. Analyysimenetelmät

### Aaltomittaukset

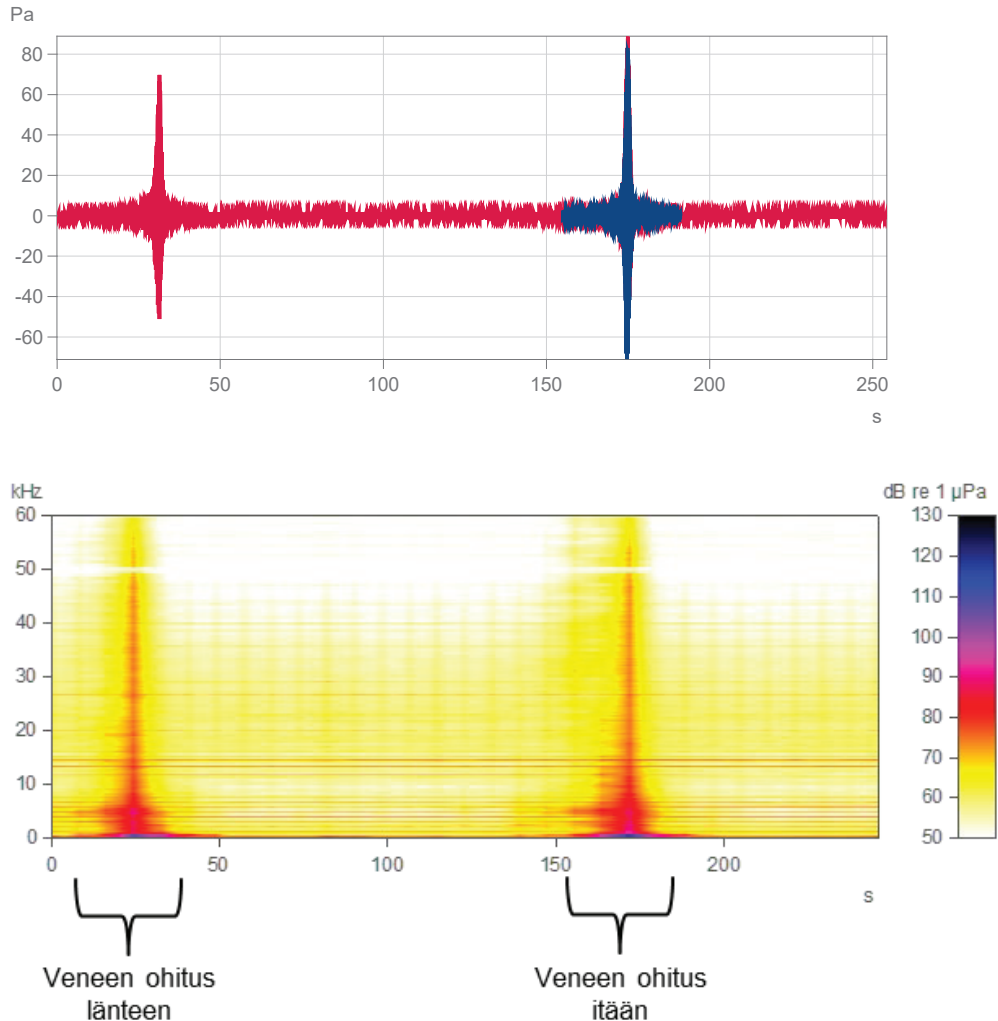
Aaltomittaukset analysoitiin aika- ja taajuustason menetelmin. Lopputuloksina esitetään aallonkorkeuden arvot sekä periodin arvoja (Kuva 1). Periodin arvona käytettiin aaltospektrin piikkiperiodin arvoa. Veneiden ohitukset analysoitiin erikseen lännen ja idän suuntiin. Mitatut tulokset olivat yhteneväiset eri aaltoanturien välillä, ja raportissa esitetään tulokset aaltoanturille 1. Esimerkin tapauksissa (Kuva 1) aallon amplitudit ovat  $\pm 0.15$  m ja periodi 2.2 s (0.46 Hz) idän suunnan ohitukselle.



Kuva 1. Esimerkki aaltomittausten analyysistä. Vas. ylhäällä: mitattu aikahistoria kummallakin aaltoanturilla (wh1 ja wh2) veneen lännen ja idän suuntaisista ohituksista. Vas. alhaalla: spektrogrammi vastaavasta tilanteesta aaltoanturille 1. Oik. ylhäällä: leikattu osuus idän suunnan ohituksen aikahistoriasta. Oik. alhaalla: leikatusta osasta muodostettu aallon amplitudispektri.

## Vedenalaisismelumittaukset

Vedenalaisismelumittausten analyysi erityisesti matalassa vedessä on haastavaa ja äänen eteneminen tässä ympäristössä on monimutkaista. Mittaus- ja analyysiproseduureja ja -standardeja (esim. ISO-standardi 17208-1) on esitetty lähinnä laivoille syvässä vedessä suoritettaville mittauksille. Vedenalaisismelumittaukset analysoitiin käyttäen ekvivalenttia äänenpainetasoa  $L_{eq}$ , joka kuvaa äänenpainesignaalin tehollisarvoa. Analyysin aikaikkuna vastasi 300 m kuljettua matkaa kullekin kokeelle (Kuva 2). Suurimman äänenpainetason taajuus määritettiin kapeakaistaisista äänitasospektreistä



Kuva 2. Esimerkki hydrofonimittauksen analyysistä veneen ohittaessa hydrofonin. Ylhäällä mitattu äänenpainetaso lännen ja idän suunnan ohituksista, ja alhaalla vastaava spektrogrammiesitys.

## Liite 3. Tulostaulukot mittauksista ja arvioinneista.

Aaltomittausten tulokset veneille. Tyhjät rivit = veneen aallot eivät erotettavissa tausta-aalloista.

Vene 1	Aaltomittaukset							
Koe n:o	Vs [km/h]	Etäisyys [m]	mean [m]	min [m]	max [m]	T [s]	H [m]	
1	10	100	-0.008	-0.034	0.022	1.28	0.068	
2	10	100	-0.008	-0.034	0.022	1.28	0.068	
5	20	100	-0.001	-0.091	0.064	1.46	0.181	
6	20	100	-0.002	-0.120	0.118	2.79	0.239	
9	30	100	0.000	-0.118	0.103	3.84	0.235	
10	30	100	0.000	-0.158	0.156	2.19	0.316	
15	57	100	0.000	-0.127	0.122	1.92	0.254	
16	57	100	0.000	-0.145	0.164	1.92	0.329	
19	30	50	0.000	-0.128	0.139	1.92	0.277	
20	30	50	0.001	-0.151	0.154	2.05	0.307	
23	20	50	0.001	-0.172	0.173	3.84	0.346	
24	20	50	0.000	-0.113	0.103	2.05	0.226	
25	10	50	0.001	-0.031	0.020	1.40	0.062	
26	10	50	0.001	-0.027	0.019	1.02	0.055	
29	20-(5)-20	50	0.002	-0.172	0.187	3.41	0.375	
30	20-(5)-20	50	0.000	-0.153	0.197	3.07	0.394	
33	20-(5)-20	100	0.000	-0.127	0.103	3.41	0.255	
34	20-(5)-20	100	0.001	-0.071	0.055	1.81	0.142	

Vene 2	Aaltomittaukset							
Koe	Vs [km/h]	Etäisyys [m]	mean [m]	min [m]	max [m]	T [s]	H [m]	
11	20	100	0.001	-0.088	0.086	1.71	0.176	
12	20	100	0.001	-0.076	0.077	1.71	0.154	
17	30	100	0.000	-0.081	0.064	1.62	0.162	
18	30	100	0.000	-0.086	0.072	1.62	0.173	
37	10	100						
38	10	100						
49	74	100	0.000	-0.033	0.019	1.40	0.065	
50	74	100	0.001	-0.046	0.031	1.40	0.093	
57	20-(5)-20	100						
58	20-(5)-20	100	-0.010	-0.096	0.066	2.19	0.192	
63	74	50						
64	74	50	-0.015	-0.084	0.078	1.81	0.168	
69	10	50						
70	10	50	-0.019	-0.085	0.126	1.18	0.252	
73	20	50						
74	20	50						
77	30	50	-0.005	-0.158	0.169	1.71	0.337	
78	30	50	-0.004	-0.136	0.134	1.62	0.272	
81	20-(5)-20	50	0.008	-0.103	0.119	1.71	0.238	
82	20-(5)-20	50	0.007	-0.145	0.119	1.62	0.289	



Vene 3	Aaltomittaukset							
Koe	Vs [km/h]	Etäisyys [m]	mean [m]	min [m]	max [m]	T [s]	H [m]	
3	10	100	0.000	-0.022	0.013	1.28	0.044	
4	10	100	0.000	-0.017	0.011	1.02	0.034	
7	20	100	0.000	-0.063	0.042	2.56	0.126	
8	20	100	0.000	-0.106	0.075	1.92	0.211	
13	30	100	0.001	-0.064	0.035	1.54	0.129	
14	30	100	0.000	-0.079	0.064	1.62	0.159	
21	54	100	0.000	-0.056	0.032	1.62	0.111	
22	54	100	0.000	-0.053	0.034	1.46	0.105	
27	54	50	0.002	-0.066	0.064	1.54	0.131	
28	54	50	0.000	-0.083	0.055	1.54	0.165	
31	20	100	0.000	-0.066	0.043	1.92	0.132	
32	20-(5)-20	100	0.000	-0.058	0.044	1.54	0.116	
35	20-(5)-20	50	0.000	-0.069	0.061	2.36	0.139	
36	20-(5)-20	50	0.001	-0.099	0.074	2.36	0.198	
39	30	50	0.001	-0.080	0.069	1.62	0.160	
40	30	50	0.001	-0.112	0.085	1.92	0.225	
43	20	50	0.004	-0.076	0.077	1.92	0.154	
44	20	50	0.004	-0.083	0.074	1.71	0.165	
45	10	50	0.003	-0.052	0.041	1.23	0.104	
46	10	50	0.000	-0.034	0.024	2.05	0.068	

Vene 4	Aaltomittaukset							
Koe	Vs [km/h]	Etäisyys [m]	mean [m]	min [m]	max [m]	T [s]	H [m]	
53	10	50	0.000	-0.039	0.030	1.34	0.078	
54	10	50	0.001	-0.038	0.024	1.62	0.076	
59	20	50	-0.005	-0.134	0.089	1.81	0.267	
60	20	50	-0.005	-0.096	0.060	1.46	0.191	
65	30	50	-0.014	-0.099	0.075	1.46	0.199	
66	30	50	-0.017	-0.087	0.077	1.40	0.173	
71	20	100	-0.020	-0.109	0.137	1.10	0.275	
72	20	100						
79	30	100						
80	30	100						
83	52	100						
84	52	100						
85	20-(5)-20	100						
86	20-(5)-20	100						
89	30	50						
90	30	50						
93	52	50						
94	52	50						
97	20-(5)-20	50	0.001	-0.077	0.089	1.34	0.178	
98	20-(5)-20	50	0.000	-0.072	0.073	1.34	0.145	



Vene 5	Aaltomittaukset							
Koe	Vs [km/h]	Etäisyys [m]	mean [m]	min [m]	max [m]	T [s]	H [m]	
41	10	100	0.001	-0.062	0.040	1.46	0.124	
42	10	100	0.000	-0.054	0.047	1.40	0.108	
47	20	100	0.000	-0.033	0.019	1.40	0.067	
48	20	100						
51	30	100	0.001	-0.067	0.050	1.40	0.134	
52	30	100	0.001	-0.040	0.022	1.34	0.079	
55	71	100	0.000	-0.049	0.031	1.46	0.099	
56	71	100						
61	55	50	-0.009	-0.091	0.083	1.34	0.181	
62	71	50	-0.005	-0.086	0.071	0.96	0.173	
87	10	50						
88	10	50						
91	20	50	-0.015	-0.083	0.114	1.54	0.229	
92	20	50	-0.014	-0.101	0.108	1.34	0.217	
95	30	50						
96	30	50						
101	20-(5)-20	50						
102	20-(5)-20	50						
103	häiriöajo	100						
104	häiriöajo	50						
67	10	100	-0.018	-0.092	0.072	1.34	0.184	
68	10	100						
75	20	100						
76	20	100						





Vedenalaisen melun mittaustulokset veneille. Tyhjät rivit = veneen ääni ei erotettavissa taustäänistä. Suurimman äänenpainetason taajuus (maxFreq) määritettiin kapeakaistaisista äänitasospektreistä.

VA-melu	Vene 1			
Koe	Vs [km/h]	Etäisyys [m]	maxFreq [Hz]	Leq [dB]
2	10	100	67	119
5	20	100	120	133
6	20	100	169	131
9	30	100	145	136
10	30	100	141	134
15	57	100	210	146
16	57	100	210	144
19	30	50	207	145
20	30	50	147	147
23	20	50	124	143
24	20	50	123	144
25	10	50	38	125
26	10	50	78	123

VA-melu	Vene 2			
Koe	Vs [km/h]	Etäisyys [m]	maxFreq [Hz]	Leq [dB]
11	20	100	170	123
12	20	100	326	122
17	30	100	131	123
18	30	100	134	123
37	10	100	63	118
38	10	100	63	116
49	74	100	415	137
50	74	100	273	137
63	74	50	432	145
64	74	50	425	145
69	10	50	63	133
70	10	50	65	132
73	20	50		
74	20	50		
77	30	50	145	138
78	30	50	144	139

VA-melu	Vene 3			
Koe	Vs [km/h]	Etäisyys [m]	maxFreq [Hz]	Leq [dB]
3	10	100	1640	111
4	10	100	1671	111
7	20	100	196	124
8	20	100	198	121
13	30	100	163	123
14	30	100	164	123
21	54	100	2875	127
22	54	100	335	127
27	54	50	112	135
28	54	50	112	136
31	20	100		
39	30	50	160	133
40	30	50	160	133
43	20	50	44	133
44	20	50	42	133
45	10	50	286	117
46	10	50	2019	124

VA-melu	Vene 4			
Koe	Vs [km/h]	Etäisyys [m]	maxFreq [Hz]	Leq [dB]
53	10	50	51	134
54	10	50	51	136
59	20	50	80	134
60	20	50	83	134
65	30	50	101	130
66	30	50	97	133
89	30	50	101	131
90	30	50	94	133
93	52	50	149	136
94	52	50	150	138
71	20	100	161	120
72	20	100	171	119
79	30	100	196	119
80	30	100	98	118
83	52	100	148	128
84	52	100	149	129



VA-melu	Vene 5			
Koe	Vs [km/h]	Etäisyys [m]	maxFreq [Hz]	Leq [dB]
41	10	100	43	121
42	10	100	154	120
47	20	100		
48	20	100		
51	30	100		
52	30	100		
55	71	100	31	120
56	71	100	407	121
61	55	50	324	128
62	71	50	405	134
87	10	50		
88	10	50		
91	20	50	281	115
92	20	50	270	117
95	30	50	39	121
96	30	50	190	120

### Ilmamelun mittaukset

Ilmamelu	Vene 1			
koe nro	nopeus [k	etäisyys	LAE, dB	
1	10	100	56.1	
2	10	100	57.8	
5	20	100	68.3	
6	20	100	64.3	
9	30	100	67.9	
10	30	100	70.1	
15	57	100	69.1	
16	57	100	70.5	
19	30	50	74.2	
20	30	50	74.5	
23	20	50	74.6	
24	20	50	74.9	
25	10	50	64.4	
26	10	50	66.2	
29	20-(5)-20	50	73.1	
30	20-(5)-20	50	73.2	
33	20-(5)-20	100	67.9	
34	20-(5)-20	100	68.4	

Ilmamelu	Vene 2			
koe nro	nopeus [k	etäisyys	LAE, dB	
11	20	100	65.0	
12	20	100	63.6	
17	30	100	65.7	
18	30	100	65.8	
37	10	100	64.9	
38	10	100	64.0	
49	74	100	74.1	
50	74	100	73.0	
57	20-(5)-20	100	68.0	
58	20-(5)-20	100	68.1	
63	74	50	77.1	
64	74	50	76.0	
69	10	50	67.7	
70	10	50	68.6	
73	20	50	72.6	
74	20	50	72.6	
77	30	50	71.8	
78	30	50	72.7	
81	20-(5)-20	50	73.5	
82	20-(5)-20	50	72.1	



Ilmamelu	Vene 3		
koe nro	nopeus [k	etäisyys	LAE, dB
3	10	100	57.0
4	10	100	60.0
7	20	100	61.6
8	20	100	64.0
13	30	100	64.2
14	30	100	66.0
21	54	100	67.0
22	54	100	67.3
27	54	50	70.1
28	54	50	72.2
31	20	100	63.0
32	20-(5)-20	100	63.4
35	20-(5)-20	50	69.0
36	20-(5)-20	50	70.5
39	30	50	71.1
40	30	50	71.6
43	20	50	69.1
44	20	50	71.4
45	10	50	63.8
46	10	50	66.6

Ilmamelu	Vene 4		
koe nro	nopeus [k	etäisyys	LAE, dB
53	10	50	66.6
54	10	50	65.6
59	20	50	69.7
60	20	50	70.7
65	30	50	68.9
66	30	50	70.1
71	20	100	66.5
72	20	100	67.2
79	30	100	67.1
80	30	100	67.3
83	52	100	72.0
84	52	100	73.2
85	20-(5)-20	100	71.5
86	20-(5)-20	100	65.7
89	30	50	70.8
90	30	50	70.4
93	52	50	75.6
94	52	50	75.6
97	20-(5)-20	50	70.1
98	20-(5)-20	50	70.5

Ilmamelu	Vene 5		
koe nro	nopeus [k	etäisyys	LAE, dB
41	10	100	58.5
42	10	100	56.6
47	20	100	68.0
48	20	100	67.7
51	30	100	66.5
52	30	100	68.3
55	71	100	71.8
56	71	100	70.8
61	55	50	74.3
62	71	50	75.7
87	10	50	66.8
88	10	50	69.1
91	20	50	71.2
92	20	50	71.8
95	30	50	70.6
96	30	50	72.0
101	20-(5)-20	50	71.1
102	20-(5)-20	50	70.0
103	häiriöajo	100	71.0
104	häiriöajo	50	78.2



## Häiritsevyyden arviointi

Arvioijat A – L.

Ajo N:o	Vene	Vs [km/h]	Etäisyys [r]	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	k.a	keskih	max	min
25	1	10	50	1	1	1	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1.17	0.37	2	1
26	1	10	50	1	1	2	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1.25	0.43	2	1
23	1	20	50	2	3	4	3	3	3	2	3	2	2	2	2	2.58	0.64	4	2
24	1	20	50	3	3	4	4	3	3	3	3	2	2	2	2	2.83	0.69	4	2
19	1	30	50	2	3	3	3	3	2	2	3	2	2	2	2	2.42	0.49	3	2
20	1	30	50	3	3	4	4	3	3	2	4	2	2	2	2	2.83	0.80	4	2
29	1	20-(5)-20	50	3	2	3	4	4	2	3	2	2	3	3	3	2.83	0.69	4	2
30	1	20-(5)-20	50	1	3	3	4	3	2	2	1	1	3	3	3	2.42	0.95	4	1
1	1	10	100	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1.00	0.00	1	1
2	1	10	100	1	1	1	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1.08	0.28	2	1
5	1	20	100	1	2	2	3	2	2	1	1	1	1	1	2	1.58	0.64	3	1
6	1	20	100	1	2	2	3	2	2	1	1	1	1	1	2	1.58	0.64	3	1
9	1	30	100	1	2	2	3	2	2	1	1	1	2	1	2	1.67	0.62	3	1
10	1	30	100	1	2	2	3	2	2	2	1	1	2	1	2	1.75	0.60	3	1
15	1	57	100	2	3	3	3	3	2	2	2	2	2	2	2	2.33	0.47	3	2
16	1	57	100	2	3	3	3	3	2	2	3	2	2	2	2	2.42	0.49	3	2
33	1	20-(5)-20	100	1	1	1	2	2	2	1	1	1	2	1	2	1.42	0.49	2	1
34	1	20-(5)-20	100	1	2	2	3	3	1	1	1	1	2	1	2	1.67	0.75	3	1

Ajo N:o	Vene	Vs [km/h]	Etäisyys [r]	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	k.a	keskih	max	min
69	2	10	50	1	1	1	3	1	1	1	1	1	1	1	1	1.17	0.55	3	1
70	2	10	50	1	1	2	2	1	1	1	1	1	1	2	1	1.25	0.43	2	1
73	2	20	50	2	2	2	3	2	3	2	3	2	2	3	1	2.25	0.60	3	1
74	2	20	50	2	3	3	3	3	3	3	3	2	2	3	1	2.58	0.64	3	1
77	2	30	50	2	2	2	4	2	2	3	2	1	2	3	1	2.17	0.80	4	1
78	2	30	50	2	3	2	3	2	3	3	3	1	2	3	1	2.33	0.75	3	1
63	2	74	50	4	4	5	4	3	4	5	3	3	3	3	2	3.58	0.86	5	2
64	2	74	50	4	4	5	5	3	4	4	3	2	3	3	2	3.50	0.96	5	2
81	2	20-(5)-20	50	2	3	3	4	3	3	3	3	2	2	2	2	2.67	0.62	4	2
82	2	20-(5)-20	50	2	3	2	3	3	2	3	2	1	3	2	2	2.33	0.62	3	1
37	2	10	100	1	1	1	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1.08	0.28	2	1
38	2	10	100	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1.00	0.00	1	1
11	2	20	100	1	1	1	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1.17	0.37	2	1
12	2	20	100	1	1	1	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1.17	0.37	2	1
17	2	30	100	1	2	2	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1.33	0.47	2	1
18	2	30	100	1	3	2	2	2	1	1	1	2	1	1	1	1.50	0.65	3	1
49	2	74	100	3	3	3	3		3	4	2	2	2		3	2.80	0.60	4	2
50	2	74	100	3	4	3	3		3	3	3	2	2		3	2.90	0.54	4	2
57	2	20-(5)-20	100	2	2	1	2	2	2	2	1	2	1	2	2	1.75	0.43	2	1
58	2	20-(5)-20	100	1	2	1	2	3	2	1	1	2	1	2	2	1.67	0.62	3	1



Ajo N:o	Vene	Vs [km/h]	Etäisyys [r	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	k.a	keskih	max	min
45	3	10	50	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1.00	0.00	1	1
46	3	10	50	1	1	1	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1.08	0.28	2	1
43	3	20	50	1	1	1	2	2	2	1	1	1	2	2	1	1.42	0.49	2	1
44	3	20	50	1	1	1	3	3	3	2	1	1	2	2	1	1.75	0.83	3	1
39	3	30	50	2	3	3	3	3	3	3	1	2	2	1	2	2.33	0.75	3	1
40	3	30	50	1	3	2	4	3	3	2	1	2	2	2	2	2.25	0.83	4	1
27	3	54	50	3	3	2	3	3	3	2	3	2	2	2	2	2.50	0.50	3	2
28	3	54	50	3	4	3	4	3	3	2	3	1	2	2	2	2.67	0.85	4	1
35	3	20-(5)-20	50	1	2	2	3	3	2	2	1	1	2	1	2	1.83	0.69	3	1
36	3	20-(5)-20	50	1	3	2	3	3	2	2	1	2	2	1	2	2.00	0.71	3	1
3	3	10	100	1	1	1	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1.08	0.28	2	1
4	3	10	100	1	1	1	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1.08	0.28	2	1
7	3	20	100	1	1	1	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1.17	0.37	2	1
8	3	20	100	1	2	1	3	2	1	1	1	1	1	1	1	1.33	0.62	3	1
31	3	20	100	1	1	2	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1.25	0.43	2	1
13	3	30	100	2	2	1	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1.33	0.47	2	1
14	3	30	100	2	2	2	2	2	2	1	1	1	1	1	1	1.50	0.50	2	1
21	3	54	100	1	2	3	2	2	2	2	2	1	1	1	1	1.67	0.62	3	1
22	3	54	100	2	2	3	2	2	2	2	1	1	1	1	1	1.67	0.62	3	1
32	3	20-(5)-20	100	1	1	1	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1.17	0.37	2	1

Ajo N:o	Vene	Vs [km/h]	Etäisyys [r	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	k.a	keskih	max	min	
53	4	10	50	1	1	1	3	1	1	1	1	1	1	1	2	1	1.25	0.60	3	1
54	4	10	50	1	1	1	2	2	1	1	1	1	1	1	2	1	1.25	0.43	2	1
59	4	20	50	1	2	2	4	3	2	1	1	2	1	1	1	1.75	0.92	4	1	
60	4	20	50	1	2	2	3	3	2	2	2	1	1	1	1	1.75	0.72	3	1	
65	4	30	50	2	2	3	4	2	2	2	2	1	2	2	1	2.08	0.76	4	1	
66	4	30	50	1	2	3	2	2	2	3	2	1	2	2	1	1.92	0.64	3	1	
89	4	30	50	1	2	2	4	2	2	3	3	2	2	1	1	2.08	0.86	4	1	
90	4	30	50	2	2	2	3	2	2	3	3	1	2	2	1	2.08	0.64	3	1	
93	4	52	50	4	4	4	5	3	3	4	3	2	3	3	2	3.33	0.85	5	2	
94	4	52	50	3	4	4	5	4	3	5	4	2	3	3	2	3.50	0.96	5	2	
97	4	20-(5)-20	50	1	3	3	4	3	2	4	3	1	1	1	2	2.33	1.11	4	1	
98	4	20-(5)-20	50	2	4	3	4	3	2	3	2	2	1	2	2	2.50	0.87	4	1	
71	4	20	100	1	1	1	2	1	2	1	1	1	1	1	1	1.17	0.37	2	1	
72	4	20	100	1	1	1	2	1	2	1	1	1	1	2	1	1.25	0.43	2	1	
79	4	30	100	1	1	1	3	2	2	1	1	1	1	1	1	1.33	0.62	3	1	
80	4	30	100	1	1	1	2	1	2	2	1	1	1	2	1	1.33	0.47	2	1	
83	4	52	100	1	3	3	4	3	3	3	2	2	2	2	2	2.50	0.76	4	1	
84	4	52	100	2	2	3	4	3	2	4	2	1	2	2	3	2.50	0.87	4	1	
85	4	20-(5)-20	100	2	1	2	1	2	1	2	1	1	1	2	2	1.50	0.50	2	1	
86	4	20-(5)-20	100	1	1	2	1	2	1	1	1	1	1	1	2	1.25	0.43	2	1	



Ajo N:o	Vene	Vs [km/h]	Etäisyys [r	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	k.a	keskih	max	min
87	5	10	50	1	1	1	1	2	1	2	1	1	1	1	1	1.17	0.37	2	1
88	5	10	50	1	1	1	2	1	1	2	1	1	1	1	1	1.17	0.37	2	1
91	5	20	50	1	3	3	3	2	2	2	2	1	1	1	1	1.83	0.80	3	1
92	5	20	50	2	3	2	3	2	3	3	2	1	1	1	1	2.00	0.82	3	1
95	5	30	50	1	4	3	4	3	2	4	2	1	1	3	1	2.42	1.19	4	1
96	5	30	50	2	3	3	3	3	2	4	2	1	1	3	1	2.33	0.94	4	1
61	5	55	50	3	4	3	4	4	3	4	4	2	2	3	3	3.25	0.72	4	2
62	5	71	50	4	4	4	4	4	3	4	3	2	2	3	3	3.33	0.75	4	2
101	5	20-(5)-20	50	1	4	3	4	3	2	4	2	1	1	2	2	2.42	1.11	4	1
102	5	20-(5)-20	50	2	4	2	4	3	2	3	1	1	1	2	2	2.25	1.01	4	1
104	5	häiriöajo	50	4	5	4	5	4	4	4	5	2	2	5	4	4.00	1.00	5	2
41	5	10	100	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1.00	0.00	1	1
42	5	10	100	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1.00	0.00	1	1
47	5	20	100	1	1	1	2		2	1	1	1	1		1	1.20	0.40	2	1
48	5	20	100	1	1	1	2		1	1	1	1	1		1	1.10	0.30	2	1
51	5	30	100	1	2	1	2	2	2	1	1	1	1	1	2	1.42	0.49	2	1
52	5	30	100	1	1	2	3	2	2	1	1	1	1	1	2	1.50	0.65	3	1
55	5	71	100	2	3	3	4	3	2	3	3	2	2	3	3	2.75	0.60	4	2
56	5	71	100	3	2	2	3	4	3	3	1	2	2	3	3	2.58	0.76	4	1
103	5	häiriöajo	100	2	4	4	3	4	3	4	3	2	2	3	4	3.17	0.80	4	2



## **Liite 4. Akukon Oy melumittausraportti**

---

Lauri Vapalahti, Timo Peltonen

7.10.2024

## Ohiajavien veneiden melumittaus

Asiakas: Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy

Yhteyshenkilö: Kai Happonen

# OHAJAVIEN VENEIDEN MELUMITTAUS

## 1 TAUSTA

VTT järjesti Traficomien toimeksiannosta mittaukset, jossa tutkittiin ohiajavien veneiden melutasoja ja melun häiritsevyyttä. Vastaavanlainen mittaus on tehty aikaisemmin vuonna 1999 ja nyt mittaus toistettiin nykyaikaisilla veneillä. Akukon Oy vastasi ympäristömelun mittauksista. Ohiajojen häiritsevyyttä mitattiin VTT:n toimesta myös vedenalaisella mikrofonilla ja aaltosensoreilla. Paikalla oli lisäksi monihenkinen raati, joka arvioi ohiajojen melun subjektiivista häiritsevyyttä.

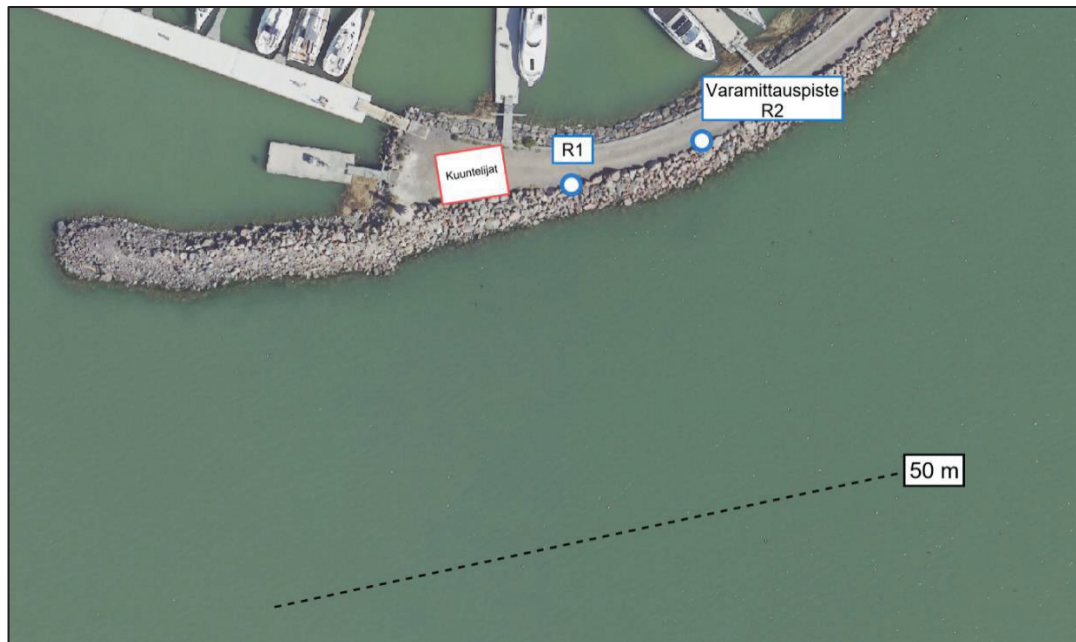
Tässä raportissa esitetään selvityksen ympäristömelumittausten toteutus ja tulokset.

## 2 YMPÄRISTÖMELUN MITTAUKSET

Mittaus suoritettiin yhden päivän aikana 19.9.2024 klo 9–17 Espoon Nuottaniemen venesatamassa. Ympäristömelun mittauksen päätekijänä toimi DI Lauri Vapalahti.

### 2.1 Mittauspisteet

Melua tallennettiin venesataman aallonmurtajalla kahdella äänitasomittarilla, jotka olivat noin 20 metrin etäisyydellä toisistaan. Mittauspisteet on esitetty *kuvassa 1*. Mittauspistettä R1 käytettiin ensisijaisena pisteenä ja piste R2 toimi rinnalla siltä varalta, että ensisijaisen mittauspisteen lähistöllä olisi ollut häiriöitä yksittäisten ohiajojen aikana. Mittauksissa käytetyt laitteistot on eritelty *taulukossa 1*.



Kuva 1: Mittauspisteiden sijainnit kartalla (Espoon karttapalvelu 4.10.2024). Katkoviiva merkitsee 50 metrin etäisyyden kuuntelijoista ja mittauspisteistä.



*Taulukko 1. Mittauslaitteisto.*

äänitasomittarit	NTi Audio	XL3-TA, XL2-TA
äänitasokalibraattori	Brüel & Kjær	4231
mittausmikrofonit	NTi Audio	MC230
analyysiohjelma	NTi Audio AG	NTi Data Explorer 2.20

Mittarit kalibroitiin mittauksen yhteydessä. Mittauslaitteiston kalibroinnit ovat jäljitettävissä kansallisiin mittanormaaleihin.

Mittareilla tallennettiin melun tarkasteluosuureita ja terssispektrejä jatkuvasti 1 sekunnin välein. Lisäksi mittarit tallensivat mitatut äänipainesignaalit täydellä laadulla wav-tiedostoihin. Näitä käytettiin tulosten analyysivaiheessa kuuntelua ja satunnaisten häiriöäänien tunnistamista varten.

## 2.2 Mitatut ohiajot

Mittausten aikana mitattiin yhteensä 98 kontrolloitua ohiajoa. Mittauksen kohteena oli yhteensä 4 veneä ja 1 vesijetti, joita ajettiin yksi kerrallaan eri nopeuksilla ja etäisyyksillä aallonmurtajasta. Jokainen nopeuden ja etäisyyden kombinaatio ajettiin kahteen kertaan: ensin länteen ja sitten itään päin ajaen aallonmurtajan ohi. Ajojen välissä pidettiin aina tauko, jotta edellisestä ohiajosta syntyneet aallot eivät häirinneet seuraavaa ohiajoa. Kaikki ohiajot tietoisesti ovat kirjattuna *liitteessä A*.

## 2.3 Analyysi ja tulokset

Melua tallennettiin yhtäjaksoisesti koko mittausten ajan. Tallennetusta signaaleista ikkunoitiin erikseen kaikki ohiajot siltä ajalta, kun ne olivat havaittavissa taustamelusta. Mahdolliset häiriöt kuten aaltojen loiskinta rantaa vasten ja lintujen äänet poistettiin analyysistä.

Kullekin ajallisesti rajatulle ohiajolle määritettiin ohituksen aikainen A-painotettu ja Slow-aikapainotettu enimmäisäänitaso  $L_{AS,max}$ , A-painotettu keskiäänitaso  $L_{Aeq,T}$  ja A-painotettu äänialistustaso  $L_{AE}$ . Lisäksi ohiajoille laskettiin terssikaistakohtaiset keskiäänitasot kapeakaistatarkastelua varten.

Kaikkien ohiajojen tulokset ovat listattuina *liitteessä A*.

## 3 TULOSTEN TARKASTELU

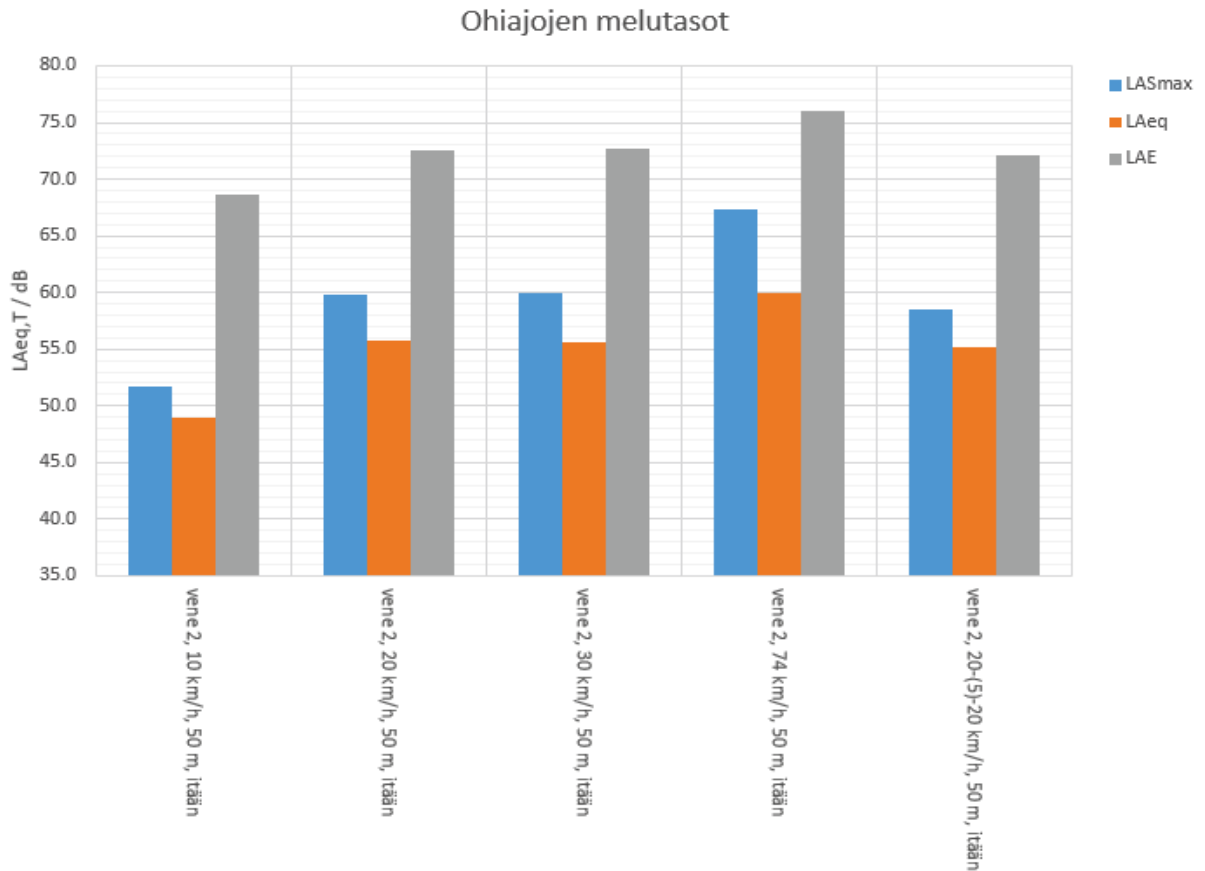
Ensisijaisessa mittauspisteessä R1 ei esiintynyt merkittäviä häiriöitä ohiajojen aikana, joten nämä tulokset ovat edustavia ja vastaavat hyvin myös arviointiryhmän kokemia melutasoja. Varamittauspisteen R2 tuloksia ei näin ollen ollut tarvetta hyödyntää ja raportoida erikseen.

Mittausten aikana tehtyjen aistivaraisten kuulohavaintojen perusteella ohiajojen melu ei ollut impulssi-  
maista.

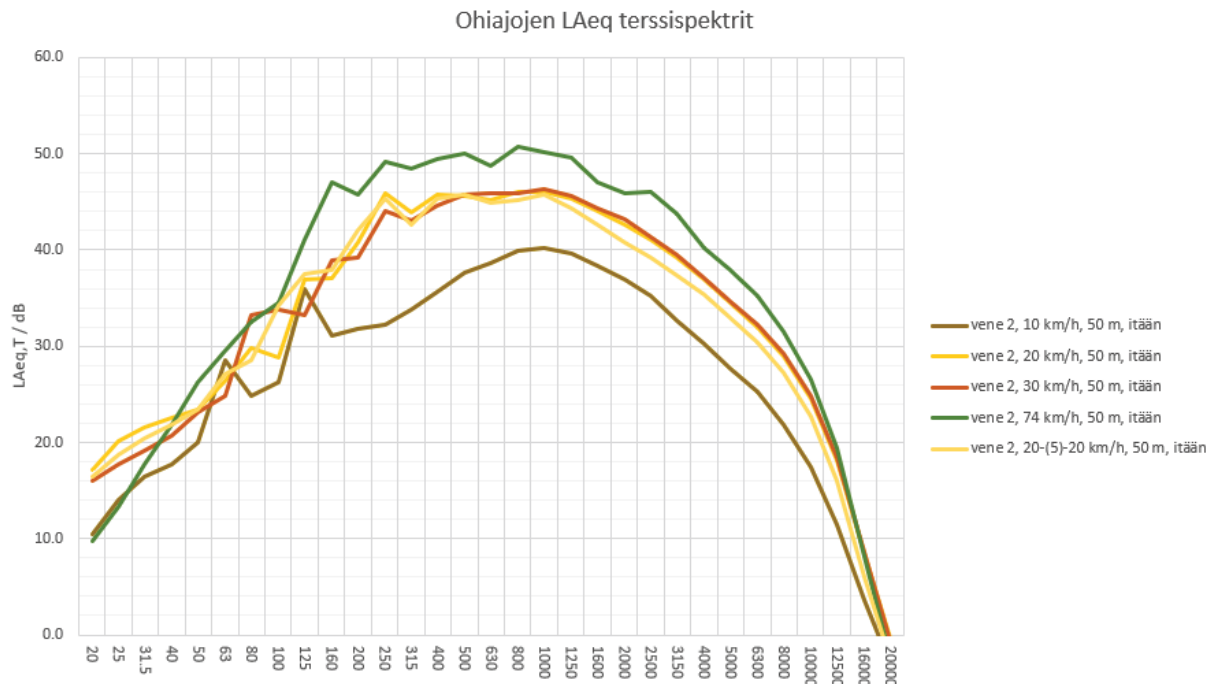
Ohiajojen melun ei todettu täyttävän kapeakaistaisuusehtoa lukuun ottamatta ohiajoa numero 13, joka täytti kapeakaistaisuuden kriteerin. Kapeakaistaisuutta tarkasteltiin terssikaistoittain standardin ISO 1996-2:2007 [1] Liitteen D mukaisesti.

Tulokset on esitetty kokonaisuudessaan Excel-muotoisessa *liitteessä A*. Liitteen taulukossa voi suodattaa ja vertailla eri ohiajoja keskenään kuvaajien avulla.

*Kuvissa 2 ja 3* on esitetty mallivertailu veneelle 2 eri ajonopeuksilla. Mittaukset 50 metrin etäisyydellä veneen kulkiessa itään päin.



Kuva 2: Ohiajojen melun enimmäistason, keskiäänitason ja altistustason vertailu veneen 2 eri ajonopeuksilla. Kulkusuunta itään päin, mittausetäisyys 50 m.



Kuva 3: Ohiajojen A-painotettujen terssispektrien vertailu veneen 2 eri ajonopeuksilla. Kulkusuunta itään päin, mittausetäisyys 50 m.

Helsingissä 7.10.2024

Lauri Vapalahti  
Akustikko, DI

Timo Peltonen  
DI, FISE PV (akustiikka)

## **VIITTEET**

1. ISO 1996-2:2007 Annex D

## **LIITTEET**

Liite A: Akukon 241184-01 Liite A – Tulostaulukko.xlsx